



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA

Título del proyecto:

“APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS AVANZADAS
PARA EL REDISEÑO DE UN MOTOR DE MOTO”

Alumno: Alberto Redín Ustárroz

Tutor: Pedro Villanueva Roldán

Pamplona, 06 de septiembre de 2010

Índice

1- Introducción	4
1. Definición	4
2. ¿Que es CATIA?	7
3. ¿Que es NASTRAN/PATRAN?	9
2- Diseño industrial	13
1. ¿Que es el diseño industrial?	13
2. Fases del proceso de diseño	13
3. El Diseño Total Pugh	14
3.1 Especificaciones de Diseño de Producto	15
3.2 El Diseño Conceptual	15
3.3 El Diseño en Detalle	16
4. El Enfoque Técnico de Pahl y Beitz	17
5. Morfología de diseño de Asimov	20
3- Diseño preliminar	24
1. Definición	24
2. Funciones de los equipos de ingeniería concurrente	24
3. Estrategia a seguir en el proyecto	26
4. Modelado y simulación	26
4.1 Modelado	27
4.2 Simulación	29
4.2.1 Simulación técnica	30
4.2.2 Prototipos, preseries y plantas piloto	34
4.2.3 Análisis productivo, logístico, de calidad y fiabilidad	34
4.2.4 Diseño “for” ensamblado	35
4.2.5 Simulación de forma del producto.	35
4.2.6 Simulación ergonómica	35

4.2.7 Simulación económica y medioambiental	35
4.2.8 Simulación social y ética	36
5. Técnicas CAD/CAE/CAM	36
5.1 Sistemas CAD	39
5.2 Sistemas CAE: Ingeniería Asistida por Ordenador	40
5.2.1 Método de los elementos finitos	40
5.2.2 Proceso para realizar un análisis por elementos finitos	41
5.3 Implantación de un sistema CAD/CAE	41
6. Prototipos	42
6.1 Propiedades de prototipos	44
6.2 Parámetros determinantes del tipo de prototipo	45
6.3 Tipos de prototipos y su uso en el proceso de diseño	47
6.3.1 Prototipos físicos conceptuales	47
6.3.2 Prototipos físicos funcionales	47
6.3.3 Prototipos ergonómicos	48
6.3.4 Prototipos virtuales	48
6.4 Proceso de diseño, desarrollo en un producto y requerimiento de prototipado	49
6.5 Tecnología de uso en prototipos	51
4- Manual de Catia	52
1- Cigüeñal	52
1.1 Muñequilla	52
1.2 Contrapesos	55
1.3 Apoyos y eje de transmisión del cigüeñal	59
2- Biela	75
2.1 Apoyo inferior de la biela	75
2.2 Apoyo superior de la biela	84
2.3 Cuerpo de la biela	86
3- Contrabiela	99
3.1 Cuerpo de la contrabiela	99
4- Pistón	109

5- Casquillo	140
6- Bulón	144
7- Ensamblaje	147
7.1 Cigüeñal	147
7.2 Casquillos	149
7.3 Biela	154
7.4 Contrabiela	156
7.5 Tornillos normalizados	159
7.6 Rodamiento normalizado	165
7.7 Bulón	168
7.8 Pistón	171
7.9 Anillos circlip normalizados	174
5- Manual de NASTRAN/PATRAN	180
6- Anexo	205
6.1 Cálculos de fatiga	205
1- Pistón:	205
2- Biela:	208
3- Cigüeñal:	211
6.2 Análisis Modal de Fallos y Efectos (A.M.F.E.)	214
7- Bibliografía	216

1- Introducción

1. Definición

Cada año salen al mercado numerosos productos diseñados para satisfacer las necesidades de los clientes. Con el paso del tiempo dichas necesidades van cambiando, bien por un nuevo uso de los productos o por el simple echo de buscar algo diferente. Por ello, los productos requieren que cada cierto tiempo sean rediseñados de acuerdo a ciertas necesidades. Solo de esta forma las empresas lograrán mantener su competitividad dentro del sector al que representen.

Las empresas capaces de rediseñar y adaptar sus productos a las necesidades de los clientes, podrán mantener la competitividad con el resto.

Hay mercados en los que el cliente puede elegir entre una gran variedad de productos de diferentes marcas y diseños que requieren un desarrollo y rediseño continuo. Por ejemplo, un mercado de ese tipo seria el de las motos. Existen muchos tipos de diseños de motos, con otros tantos diseños de sus motores dirigidos a clientes específicos para satisfacer sus necesidades, como por ejemplo, ir por la ciudad, dar paseos tranquilos disfrutando del paisaje, hacer viajes largos, ir por el monte...

Por tanto, será conveniente que las empresas trabajen en diseñar motores específicos para cada situación que el cliente necesite y también diferentes diseños de motos con componentes acordes a cada situación.

Además, y debido a la competencia del sector, será necesario que cada cierto tiempo salga al mercado un nuevo modelo de moto con un diseño mejorado tanto estéticamente como a nivel del motor que emplee.

Es importante que las empresas utilicen las nuevas tecnologías que vayan surgiendo para estudiar y mejorar el rendimiento y comportamiento de los motores. De esta forma se logrará que sean motores eficientes y que resistan los usos que el cliente le de a la moto.

El aumento de los atascos en las calles de las grandes ciudades hace que se haya incrementado el uso de motos para ir de un punto a otro de estas, ya sea para ir al trabajo

o hacer la compra. Por ello, se busca que sean motos cómodas para el usuario, que tengan capacidad, que sean manejables y que tengan un buen motor.

De cara a mi proyecto se tendrán en cuenta dichas necesidades del cliente, de buscar una moto con las características expuestas, rediseñando un nuevo motor que se integrará en un nuevo diseño de moto que saldrá al mercado. Así pues, mi trabajo tratará de rediseñar las piezas de un motor de moto.

La creciente necesidad impuesta por el usuario que requiere una moto mas amplia y con mayor capacidad para almacenar cosas que los modelos anteriores es motivo suficiente para rediseñar las dimensiones del futuro motor a un motor un poco mayor que un modelo ya fabricado para lograr un conjunto eficiente.

El proyecto está situado en una de las fases del proceso de diseño que será el diseño preliminar, y en cuanto al motor me centraré en las piezas importantes del motor como son el cigüeñal, la biela y el pistón, las cuales voy a rediseñar. Además, también se calculará la resistencia de las nuevas piezas para estimar el periodo de funcionamiento en el que podrían ser piezas válidas.

Para ello voy a realizar un manual de dos programas determinados, donde se expliquen las diferentes operaciones y pasos que se necesitan para diseñar y calcular las piezas del nuevo motor de moto. Dichas piezas, cigüeñal, biela y pistón compondrán también un ensamblaje. En los manuales se expondrán fotos que faciliten la comprensión de las operaciones a seguir, de forma que cualquier persona sea capaz de realizar el rediseño y cálculo de las piezas siguiendo dichos pasos de la forma más sencilla posible.

Los programas de diseño y cálculo son el CATIA y NASTRAN/PATRAN respectivamente, estos están entre los más utilizados por empresas de todo el mundo y son piezas fundamentales para alcanzar un diseño correcto y resistente del motor y poder competir en el mercado.

Primero utilizaré el programa CATIA, con el cual se diseñarán las piezas, y se realizará el manual explicando todas aquellas operaciones que se necesiten para diseñar las piezas y su montaje.

En el manual se irá explicando como realizar las piezas cada una por separado y por último se describirán todas aquellas operaciones que deben realizarse para montar el ensamblaje con todas las piezas. Debido a que existen elementos intermedios entre el cigüeñal y la biela y también entre la biela y el pistón, se diseñarán también un casquillo y un bulón. Se indicarán todos aquellos comandos que se vayan utilizando mediante su nombre y su dibujo identificativos.

Después utilizaré el programa de elementos finitos NASTRAN/PATRAN, del cual se realizará un manual con todas las operaciones a seguir para calcular resistencia y fatiga de las piezas mediante elementos finitos. En este caso se realizará el estudio de resistencia del cigüeñal, de la biela y del pistón con objeto de conocer su resistencia y el periodo de vida de dichas piezas, como ya se ha dicho.

El objetivo principal del proyecto es mostrar como se rediseña el motor de moto dentro del diseño preliminar del amplio proceso de diseño, creando un manual que muestre las aplicaciones y los pasos seguidos para dibujar y calcular las piezas del motor con los programas CATIA y NASTRAN/PATRAN ya comentados. De esta forma el usuario del manual puede aprender a utilizar algunas de las aplicaciones de los programas empleados y usar los conocimientos adquiridos para otras tareas.

Después de acabar mi carrera de ingeniería técnica mecánica me interesaba la realización de un proyecto relacionado con el diseño de algún componente mecánico, en el cual se utilizara de alguna forma un programa de diseño asistido por ordenador.

Por eso cuando se me planteó este proyecto no tuve demasiadas dudas porque además de que estaba relacionado con lo que buscaba, me planteaba la posibilidad de aprender un programa de cálculo por elementos finitos.

Personalmente este proyecto me ha ayudado a aumentar y perfeccionar los conocimientos sobre el uso del CATIA para diseñar y montar las piezas del motor y aprender nuevas funciones de este. Además me ha ayudado a pensar como llevar a cabo el proceso de dibujar las piezas y buscar la mejor forma para llevarlo a cabo de tal forma que después en el ensamblaje influya para bien, la forma en que se ha diseñado.

Por otro lado me he adentrado en un tema poco conocido para mí y que me interesa, los elementos finitos. Con este proyecto he aprendido a utilizar herramientas básicas del programa NASTRAN/PATRAN, con las que se realiza el manual que muestra las diferentes operaciones que se llevan a cabo para comprobar la resistencia de las piezas del motor.

Creo que un manual sobre este programa es importante debido a que no son fáciles de encontrar, o casi imposible, además tener conocimientos de NASTRAN/PATRAN quizás me vengan bien para el futuro.

También me ha aportado un conocimiento más profundo sobre lo que es el diseño y sus diferentes fases, y dentro de las fases en cual está mi proyecto de rediseñar un motor de moto.

2. ¿Que es CATIA?

CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application) es un programa de CAD/CAM/CAE para diseñar, producir y calcular piezas. Se trata de uno de los software más potentes y demandados del mundo industrial debido a su fácil manejo de las geometrías 3D. Es utilizado en la industria aeronáutica para realizar superficies complejas, así como en la industria del automóvil para el desarrollo del diseño y de componentes de carrocería.

Dicho programa fue creado por Dassault Systems y está desarrollado para proporcionar apoyo desde la concepción del diseño asistido por ordenador (CAD) hasta la producción (CAM) y el análisis de productos (CAE).

CATIA tiene varios módulos con los que trabajar dentro del diseño industrial como son:

- **Mechanical Design** (Diseño mecánico). Proporciona todas las herramientas para la creación de piezas, análisis ángulos de salida y desmoldeos, análisis de curvaturas propiedades físicas, etc. Este módulo está directamente relacionado con la parte de **Assembly** (ensamblajes) ya que muchas veces las piezas realizadas tienen que ir dentro de un conjunto más grande de piezas. También incorpora la generación de plano o **Drafting**, el uso de esta herramienta es

automática, fácil e intuitiva. Mantiene las cotas del diseño 3D, si se ha hecho correctamente y además se generan vistas de forma automática, se pueden poner tolerancias y modificar las cotas. Existe otra herramienta llamada **Wireframe and Surface Design** (superficies y alambres) con la que podemos crear elementos durante los diseños preliminares mediante operaciones con superficies. Todas las operaciones con superficies tienen que estar orientadas a obtener poli-superficies cerradas.

- **Shape** (Diseño de formas y estilo). Se trata de la parte más fuerte de CATIA. Con este tipo de superficies se pueden hacer modificaciones en los perfiles en cualquier momento, estas modificaciones se propagan a todo el diseño. Dispone de herramientas de análisis de superficies, inflexión de curvas, curvaturas, distancias, etc. El programa controla todos los parámetros que unen las superficies como la tensión en las superficies de unión, la continuidad de estas, factores de suavizado, etc.
- **Analysis & simulation** (Análisis y simulación). Realiza análisis de esfuerzos y de vibración en conjuntos con el fin de generar diseños de alta calidad en poco tiempo. No se trata de un programa basado en el cálculo de elementos finitos ya que no tiene mucha precisión, aunque puede simplificar los análisis.
- **NC Manufacturing** (Mecanizado). CATIA dispone de varios módulos de mecanizado, que generan el programa para nuestra máquina de control numérico para escoger en nuestra base de datos.

En mi proyecto el uso de CATIA estará centrado en el primer módulo denominado **Mechanical Design**, con el que se generarán las geometrías de las piezas que deseamos diseñar mediante los módulos de **Part Design** (creación de sólidos), **Sketcher** (generación de perfiles 2D) y **Assembly** (realización de ensamblajes). Estos módulos son los que utilizaré en el proyecto para diseñar el cigüeñal, la biela y el pistón, junto con las piezas intermedias, y posteriormente se realizará el ensamblaje de todas las piezas.

Part Design: Se trata de un módulo de CATIA orientado al modelado de sólidos, con el que generaremos la geometría de las piezas utilizando las herramientas necesarias. En el está incluido el módulo **Sketcher**. Este módulo tiene la extensión **CATPart**.

Sketcher: Es la herramienta de CATIA para la creación de perfiles 2D. Este módulo será con el que crearemos los perfiles básicos de nuestras piezas para después utilizar las herramientas del **Part Design**. Dichos perfiles deberán tener una continuidad de elementos geométricos (líneas, puntos y curvas) y unas restricciones para que la geometría de las piezas sea correcta.

Assembly: Se trata de un módulo que sirve para ensamblar piezas. Pero además podemos crear unos ensamblajes, los cuales se podrán introducir en un conjunto mayor. Utilizaremos esta herramienta para montar las piezas del motor una vez dibujadas, para ello usaremos las herramientas del módulo para crear restricciones que conecten las piezas y las coloquen en su sitio correcto. La extensión del **Assembly** será **CATProduct**.

3. ¿Que es NASTRAN/PATRAN?

NASTRAN/PATRAN es un programa de elementos finitos que se encarga de calcular la resistencia de las piezas diseñadas. Tiene dos módulos, el primero PATRAN en el cual se introduce la geometría de la pieza, el material que ha de tener dicha pieza, así como las cargas que ha de soportar y el tipo de esfuerzo al que se va a someter la pieza. Este apartado será, por decirlo de alguna forma, la parte física que veremos del programa, ya que podremos ver la pieza y sus cargas en la pantalla del ordenador. En mi proyecto, una vez realizadas las piezas con el programa CATIA, las guardaremos en el archivo con el formato determinado **.STP** y seguidamente con el programa PATRAN las importaremos a la pantalla de operaciones. De esta forma no tendremos que generar la geometría manualmente.

El segundo módulo, NASTRAN, se encarga de realizar los cálculos necesarios para resolver el problema al que se someterá la pieza y nos ofrecerá los resultados de resistencia de dicha pieza. Además nos ofrecerá los resultados en una simulación en la que se verán las partes que más y las que menos sufren de las piezas.

Dentro del módulo PATRAN existen varios apartados con los que se va a trabajar:

- **Geometry:** Será la herramienta en la que se introducirá la geometría de las piezas que se van a calcular.
- **Elements:** Será el módulo que nos permitirá dividir la pieza sólida en una red de nodos mas pequeños con un tamaño determinado.
- **Loads/BCs:** Es la orden con la que se definirán las restricciones de los desplazamientos de la pieza.
- **Materials:** En esta sección se procederá a poner un material a la pieza en cuestión y se definirán las características de dicho material.
- **Properties:** En esta herramienta asignaremos una serie de propiedades a los elementos de la pieza.
- **Loads Cases:** En esta sección se crearán las fuerzas que debe soportar la pieza. Además del tipo de esfuerzos que soporta la pieza.

Dentro del módulo PATRAN podremos utilizar dos herramientas que funcionan dentro del módulo NASTRAN, estas son:

- **Analysis:** Una vez definidos todos los parámetros anteriores, esta función se encargará de calcular los esfuerzos de la pieza debidos a las características impuestas.
- **Results:** Esta herramienta será la que muestre los resultados de dicho cálculo y nos dirá toda la información sobre la resistencia de nuestra pieza.

3.1 Teoría sobre elementos finitos

A continuación se trata el tema de los elementos finitos de forma general para introducir la idea, debido a que es la base del programa NASTRAN/PATRAN.

La forma natural de proceder de ingenieros, científicos e incluso economistas, consiste en separar los sistemas en sus componentes individuales, o elementales, cuyo

comportamiento pueda conocerse sin dificultad, y a continuación reconstruir el sistema original para estudiarlo a partir de dichos elementos.

En muchos casos se obtiene un modelo adecuado utilizando un número finito de componentes bien definidos. A tales problemas los denominaremos discretos. Estos elementos discretos se pueden resolver sin dificultad utilizando el ordenador, aun cuando el número de elementos es muy elevado.

En el caso de que la subdivisión prosigue indefinidamente y el problema solo puede resolverse mediante el uso de las matemáticas el problema se denominará continuo.

A lo largo de la historia se demostró que se puede sustituir las propiedades del continuo de un modo más discreto, suponiendo que las porciones pequeñas del mismo, o elementos, se comportan de una cierta forma simplificada. Con el tiempo nació la expresión, “elemento finito”. A lo largo de los años se han ido desarrollando métodos generales para analizar problemas de naturaleza discreta. Hoy en día los elementos finitos se presentan como procedimiento general de discretización de los problemas continuos planteados por expresiones definidas matemáticamente.

El ingeniero que trabaja con estructuras, calcula primero las relaciones entre fuerzas y desplazamientos para cada miembro de la estructura y después procede al ensamblaje del conjunto siguiendo un procedimiento bien definido estableciendo el equilibrio local en cada nudo. Análogamente el ingeniero eléctrico que trabaja con redes eléctricas establece primeramente una relación entre corrientes y potencias para cada elemento aislado y después procede a unir el conjunto imponiendo la continuidad de flujos.

Todos estos análisis siguen un patrón general que puede adaptarse a todos los sistemas discretos. Es por tanto posible definir un *sistema discreto tipo*.

Para acabar comentaremos la forma de abordar los *problemas discretos tipo*, que nos definirá el método de los elementos finitos como procedimiento de aproximación de problemas continuos:

- a) El sistema continuo se divide en un número finito de partes (elementos), cuyo comportamiento se especifica mediante un número finito de parámetros.

- b) La solución del sistema completo como ensamblaje de los elementos sigue precisamente las mismas reglas que se aplican a los *problemas discretos tipo*.

Hay numerosos métodos matemáticos clásicos de aproximación que se incluyen en esta categoría, así como también varios métodos de aproximaciones de naturaleza técnica. Es difícil, por tanto, hablar de los orígenes del método de los elementos finitos y del preciso momento de su invención.

Existen en la actualidad poderosas aplicaciones basadas en el Método de los Elementos Finitos (MEF), que han sido desarrolladas por equipos de especialistas de Universidades y empresas de software. Dichas aplicaciones resuelven con bastante generalidad un gran número de los problemas que se presentan en el mundo de la ciencia y de la Ingeniería y que se refieren a la mecánica de los sólidos y de fluidos, así como otros problemas de campo.

Estas aplicaciones, permiten al Ingeniero zafarse del problema más tedioso del cálculo, convirtiéndole en un usuario de Calidad, permitiéndole así concentrarse en las etapas de entrada de datos y de análisis de los resultados obtenidos.

Sin embargo existen numerosas situaciones específicas en las que se plantea nuevos problemas ingenieriles de continuo. Dichos problemas, gobernados por complejos sistemas de ecuaciones en derivadas parciales, condicionados por unas condiciones en los contornos y en los límites, requieren soluciones numéricas adecuadas. El desarrollo de aplicaciones específicas basadas en el MEF, permitirá dar soluciones a tales problemas.

La resolución de un problema técnico lineal y estático mediante el MEF se suele llevar a cabo de acuerdo a las siguientes fases:

1. Definición de la ecuación diferencial y condiciones de contorno.
2. Discretización del dominio mediante elementos y nudos.
3. Elección del tipo de aproximación, es decir, de las funciones (polinómicas) que describen la función de campo dentro de cada elemento (Funciones de Forma).
4. Ecuaciones que proporciona el MEF para cada elemento (Matrices de rigidez y vectores de fuerza).

5. Ensamblaje de las matrices y vectores de cada elemento para la formación del sistema.
6. Resolución del sistema de ecuaciones lineales resultantes.
7. Definición de la matriz de resultados.
8. Descripción adecuada de los resultados.

2- Diseño industrial

1. ¿Que es el diseño industrial?

Según la Real Academia Española el diseño significa: Traza, delineación de un edificio o de una figura. Descripción o bosquejo de alguna cosa, hecho por palabras. Proyecto, plan. Concepción original de un objeto u obra destinados a la producción en serie.

De todas estas definiciones se saca en claro una definición global y bastante general y es que hacer un diseño significa idear algo, por dentro y por fuera. Diseñador es el que diseña, proyecta y el que idea. Además el término diseño coincide con el termino en inglés to design y que significaría proyectar. Por tanto, diseño y proyecto son sinónimos, aunque el primero esta asociado al dibujo, los bocetos o la parte formal y estética del proyecto, mientras que el segundo termino design esta asociado al concepto de ciencia de creación de lo artificial con el que se ha definido el proyecto.

2. Fases del proceso de diseño

El éxito de una empresa reside en un factor clave como es, el desarrollo de nuevos productos. En los años ochenta las empresas centraban los esfuerzos en reducir el tiempo del ciclo de fabricación e implantar sistemas de producción flexibles. En la década de los noventa se preocupaban por el proceso de diseño y desarrollo, más concretamente en reducir el tiempo de diseño de nuevos productos. En los últimos años se han producido muchos cambios debido a las nuevas tecnologías de la información.

Debido a la igualdad tecnológica entre empresas competidoras en cuanto a calidad del diseño, se idean nuevas formas de competir en el mercado, la competencia basada en el tiempo. La empresa que tiene mayor rapidez en sacar sus productos ante las necesidades

de los clientes se convierte en líder del mercado. Esta reducción del tiempo tiene una serie de ventajas: Aumenta la productividad, las previsiones se hacen más fiables, los clientes confían en la capacidad de la empresa, se incrementa la cuota de mercado...

La importancia que ha ido tomando el tiempo de desarrollo de nuevos productos como ventaja competitiva, ha hecho que los encargados de gestionar los procesos encuentren nuevas herramientas que ayuden a reducir los tiempos. Para ello se utiliza el proceso de diseño de productos que sigue una serie de pasos en la elaboración del nuevo producto.

Dichos pasos dependen de los medios que una empresa tenga para llevarlos a cabo, del tipo de meta a alcanzar y de las personas que lo llevan a cabo.

Hoy en día hay varias teorías sobre el proceso de diseño como el diseño total de **Pugh**, el enfoque técnico de **Pahl** y **Beitz** y el diseño de **Asimov**. A continuación se exponen las distintas teorías de diseño, y se verá cuales son compatibles con el proyecto desarrollado.

3. El Diseño Total Pugh

Pugh entiende el diseño como una actividad más que como una materia académica. Sus teorías sobre el diseño se enmarcan dentro de lo que se denominan teorías integradoras. Propone un modelo general aplicable a cualquier rama profesional del diseño, y lo basa en dos elementos fundamentales: el núcleo central y las especificaciones de diseño de producto.

El núcleo central está formado por un conjunto de actividades imprescindibles, independientemente del tipo de producto que se este diseñando. Dicho núcleo consta de los siguientes elementos:

- Análisis de mercado
- Especificaciones de diseño de producto
- Diseño conceptual
- Diseño en detalle
- Fabricación
- Venta

3.1 Especificaciones de Diseño de Producto

Las especificaciones de Diseño de Producto son todo lo que envuelve a todo el proceso de diseño. Independientemente del punto en el que se encuentre el proceso de diseño o del grado de desarrollo de nuestro producto, dichas especificaciones son la base de referencia.

El punto inicial de cualquier actividad de diseño es la investigación de mercado, el análisis de la competencia, la búsqueda de la literatura, averiguación de patentes, etc. Se deben extraer unas especificaciones de Diseño de Producto lo mas completas posibles.

De cara a mi proyecto la investigación de las especificaciones de Diseño de Producto ya se habría elaborado en etapas anteriores y ya se conocerían los requerimientos del cliente. Estos serían una moto con más capacidad de almacenaje, con un buen motor y que sea manejable por la ciudad. Mi proyecto se centrará en llevar a cabo los requisitos que debe cumplir el motor y diseñarlo según las especificaciones y soluciones generadas y no en esta fase de búsqueda de especificaciones.

3.2 El Diseño Conceptual

El diseño conceptual para Pugh, representa el conjunto de los subsistemas y componentes que forman el sistema completo. Para ello, es en esta fase del diseño conceptual donde hay que trabajar con ideas, al mismo tiempo que con generación de soluciones. Esta claramente orientado al diseño de productos, considera el producto final como una respuesta del diseñador a una necesidad existente en el mercado y establece una serie de pasos que deben guiar todo proceso de diseño hasta llegar a una solución lo mas adecuada posible.

La importancia que otorga Pugh a las especificaciones es la clave del desarrollo posterior de su metodología, en la que pretende integrar todas las actividades que participan en el desarrollo de un nuevo producto.

Esta fase se divide en dos aspectos diferenciados:

- La generación de soluciones que satisfagan la necesidad percibida.

- La evaluación de las mismas para recoger la que mas encaje con las Especificaciones de Diseño de Producto.

Las directrices que Pugh propone son las siguientes:

- Generar ideas teniendo en cuenta las Especificaciones de Diseño Producto.
- Los medios para transmitir las ideas deben ser claros para todos los componentes del equipo de diseño.
- Los conceptos deben ser analizados en grupo.
- No empezar a seleccionar o descartar ideas hasta terminar la fase de generación.
- Descartar la intuición profesional como medio de selección.
- Empelar metodología de selección, que no inhibe la creatividad durante el proceso de selección y estimula la aparición de nuevos conceptos que podrían no haber surgido de otro modo.

En esta fase podrían exponer las diferentes ideas para la realización de las piezas, sus medidas, materiales, y se buscaría la solución mas acertada del diseño del motor. Esta fase del método Pugh es anterior a la fase en la cual está centrado mi proyecto, debido a que las ideas y soluciones para el cigüeñal, pistón y biela ya están generadas y solo queda diseñarlas más en detalle. Por tanto mi proyecto no esta centrado en esta fase.

3.3 El Diseño en Detalle

Esta fase es tratada de un modo muy general por Pugh. Esta parte se refiere a productos en general, por lo que debe abrir sus miras hacia otros posibles objetos no esencialmente técnicos.

Las reflexiones que se hacen respecto a esta etapa son:

- Nunca se debe llevar a cabo el diseño en detalle sin referirse al diseño conceptual obtenido en la fase previa.
- La interacción entre las distintas áreas que intervienen en el diseño debe considerarse junto con las restricciones que cada una de ellas compone.
- El propio acto de definir un componente dentro de un sistema impone restricciones en el mismo.

- El componente más simple y barato no siempre es el más económico dentro del conjunto de diseño.
- Generalmente, la reducción en la variedad de componentes conduce a una reducción de tiempo y a un menor coste del producto.
- Es conveniente diseñar pensando como se va a fabricar.

Esta fase de la morfología de diseño Pugh es en la que mas se acerca a la que está centrado mi proyecto, ya que se rediseña el motor del la moto una vez obtenidas todas las soluciones en fases anteriores, medidas, materiales, etc. Me centro en el diseño de las piezas y su montaje teniendo en cuenta su forma de fabricación y conociendo como han sido definidas en el diseño conceptual. Además se calculan, el cigüeñal, pistón y biela una vez definidas para completar el desarrollo de esta fase del diseño.

En general el Diseño Total Pugh tiene una fase aplicable a la fase del diseño del motor en la que estoy trabajando, como ya se ha dicho, sería la fase de diseño de detalle. Por otro lado el Pugh es un método aplicable de un modo general a cualquier rama profesional del diseño y quizás no sea la mejor teoría de diseño para aplicar a mi proyecto.

4. El Enfoque Técnico de Pahl y Beitz

Pahl y Beitz proponen una aproximación sistemática a la teoría del diseño, ofreciendo una serie de pautas a seguir a lo largo del proceso de diseño, aunque esta serie de pautas van mas orientadas hacia la resolución de problemas técnicos que hacia el desarrollo de nuevos productos. No obstante, dicho desarrollo puede implicar numerosos problemas técnicos, de hecho, un desarrollo de producto consiste en plantear nuevas soluciones a problemas existentes, por lo que directamente de aborda el tema.

Así el modelo que presentan puede resumirse en los siguientes apartados:

- Planificación del producto y clarificación de la tarea.
- Diseño conceptual.
- Diseño de conjunto (Embodiment Design).
- Diseño de detalle.

La primera de las fases es algo similar a lo que en Pugh se denominaba estudio de mercado. Esto implica la recogida de datos acerca de los requerimientos del cliente y la generación de las primeras ideas sobre el producto en cuestión. Esta fase, al igual que en Pugh, se realizaría para saber que especificaciones quiere el cliente de las características de su moto, en cuanto al motor, manejabilidad, diseño, y tamaño de esta.

Mi proyecto, como ya se ha dicho, está centrado en la parte del motor y esta fase del enfoque técnico Pahl y Beitz se realizaría en fases anteriores a la parte en la que está centrado mi trabajo.

La segunda fase, diseño conceptual, implica una serie de puntos a destacar. Estos se enumeran a continuación:

- Un ejercicio de búsqueda para encontrar los problemas esenciales.
- Establecer estructuras funcionales.
- Buscar principios de trabajo (working principles).
- Combinar los principios de trabajo en estructuras de trabajo (working structures).
- Seleccionar una estructura de trabajo apropiada y desarrollar una solución principal o principio de solución (principle solution).

Esta fase trataría de buscar los problemas y soluciones más importantes que surgirían del desarrollo de la nueva biela, el cigüeñal y el pistón a partir de los requerimientos.

En la siguiente fase, diseño de conjunto, se trabaja a partir de la idea que ha surgido en la etapa del diseño conceptual. Desde ese momento se trata de producir una distribución definitiva del producto o sistema propuesto de acuerdo con los requerimientos técnicos y económicos. Es después de esta fase cuando es conveniente hacer un estudio sobre la viabilidad económica del producto. Esta es la fase más representativa y a la que se dedica mayor porcentaje de l trabajo, tiene varios pasos:

1. Identificar aquellos requerimientos que tiene una importancia crucial en el diseño de conjunto: de tamaño, disposición y materiales.
2. Generar dibujos a escala de las restricciones espaciales que determinan el diseño.
3. Una vez establecidos los requerimientos principales y restricciones espaciales, se produce el primer esbozo de la solución.

4. Se desarrollan distribuciones preliminares y diseños de forma para los elementos que llevan a cabo las funciones principales. La disposición general, la forma de los componentes y los materiales provisionales.
5. Una o más distribuciones preliminares deben seleccionarse mediante métodos de toma de decisiones.
6. Se desarrollan distribuciones preliminares y diseños que no se habían tenido en cuenta por tratarse de soluciones ya existentes.
7. Determinar las funciones auxiliares que se requieran y aprovechar en la medida de lo posible las soluciones ya existentes y elementos normalizados.
8. Se generan distribuciones detalladas y diseños de forma para los elementos de acuerdo con las reglas del diseño de conjunto, según la normalización, regulaciones, cálculos detallados y compatibilidad con las funciones auxiliares que aun no han sido resueltas.
9. Se desarrollan distribuciones detalladas y diseños de forma para los elementos de las funciones auxiliares, añadiendo elementos normalizados o estándar siempre que se puede.
10. Evaluar las propuestas frente a los criterios técnicos y económicos. Todas las soluciones deben ser comparadas al mismo nivel de detalle, ya que de otro modo no es posible evaluarlas.
11. Fijar y determinar la distribución global preliminar.
12. Optimizar y completar los diseños de forma para la distribución seleccionada por eliminación de los puntos débiles identificados en el curso de la evaluación.
13. Comprobar el diseño en busca de errores en cuanto a función, compatibilidad espacial o efectos no deseados. Realizar las mejoras que sean necesarias.
14. Concluir la fase de diseño del conjunto preparando una lista de partes y unos documentos de fabricación y montaje preliminares.
15. Determinar el diseño de distribución definitivo y pasar a la fase de diseño de detalle.

De esta fase se aplican algunas ideas de cara a la realización del rediseño del motor. Se trata de conseguir una solución definitiva del producto. Dibujo de bocetos de las posibles soluciones de las piezas teniendo en cuenta los ya diseñados anteriormente, para conseguir los diseños preliminares.

Además habrá que realizar unos diseños mas detallados de los elementos que llevan a cabo las funciones principales. Se deben realizar los cálculos necesarios para averiguar la resistencia de las piezas, mediante elementos finitos. También se deberán optimizar los diseños en busca de errores en cuanto a función y compatibilidad espacial de las piezas, ya que el movimiento de la biela provocado por el giro del cigüeñal, podría provocar choques que hay que tener en cuenta. Esta fase equivaldría a diseño preliminar e incluso de detalle que se podría aplicar a las piezas de mi proyecto.

Por último estaría la fase de diseño en detalle pero que en el enfoque Pahl y Beitz no dedican un apartado específico, esta fase equivaldría al diseño definitivo, planos de fabricación y ultimación de detalles.

Esta teoría de proceso de diseño de Pahl y Beitz no es aplicable a mi trabajo ya que su enfoque esta más dirigido a resolver posibles problemas técnicos que al desarrollo de nuevos productos. Además, en dicho enfoque, no esta contemplado mi fase de diseño que sería un diseño preliminar específico.

5. Morfología de diseño de Asimov

Asimov establece una serie de puntos que de cumplirse íntegramente, garantizan el éxito del diseño con una elevada probabilidad. En esencia, abarca prácticamente los mismos puntos que el resto de morfologías, aunque debido a la estructura y orden de realización de los mismos, resulta un poco más sencillo de llevar a cabo, obteniéndose unos resultados muy buenos.

Cada una de las fases del proceso de diseño que definen esta morfología de diseño se enumera a continuación:

- **Estudio de viabilidad/Diseño conceptual:** En este apartado, se detecta la necesidad, bien sea latente o creada, a la cual hay que determinar una solución, surgen las primeras ideas, aunque no se conozca físicamente como va a ser. Finalmente se evalúan dichas ideas, tanto técnica como económicamente. Se procesa la información, el equipo de diseño se ocupa de desarrollar el producto adecuado a la demanda, se buscan soluciones creativas al problema.

- **Diseño preliminar:** En esta fase se produce el desarrollo cualitativo de un diseño, se empiezan a plantear diferentes soluciones físicas, como los bocetos.
- **Diseño en detalle:** Una vez se ha determinado cual es la solución, se inician los estudios y análisis para el diseño completo del producto. Estos estudios dependen del tipo de producto y sus características. El diseño resultante debe probarse y se debe verificar que su comportamiento es el esperado. Se realizan pruebas de simulación por ordenador. Además de describe detalladamente la solución del producto.
- **Planificación de la producción:** En esta fase, una vez terminado el diseño, se detalla cual va a ser el proceso de fabricación del producto, los planes de control etc. Se deben tener en cuenta los planos y especificaciones de fabricación generadas por el equipo de diseño.
- **Planificación de la distribución:** Se define como va a llegar el producto al cliente o clientes, el tipo de comercio en el que puede encontrarse etc. Se crean estrategias de marketing, publicidad, ferias etc. El producto si está bien diseñado, cumple su función y da un servicio al cliente. Deben crearse manuales de uso del producto para determinar su buen uso y los cuidados de este.
- **Planificación de uso:** Hay que determinar unos manuales o guías de cómo debe hacerse eso del producto y los cuidados que hay que tener a la hora de manipularlo.
- **Planificación de la retirada y reciclaje:** Esta fase hace referencia al fin de la vida útil del producto, a su retirada y el reciclaje. Hay que establecer un plan de cómo retirar el producto del mercado y además, se hace necesario crear un plan de reciclaje del producto y sus materias primas empleadas en su fabricación por lo que el diseñador debe considerar también esta etapa.

Mi proyecto, rediseñar las piezas del motor de moto, deberá pasar por cada una de las fases del proceso de diseño, para que este sea bueno, de calidad y se realice en el menor tiempo posible. Debido a que mi proyecto se enfoca, una vez obtenidas las ideas de desarrollo, en diseñar las piezas del motor y calcularlas, este se localizará en dos fases de

dicho proceso, que serán el diseño preliminar y diseño en detalle. Desarrollaremos un poco más estos dos conceptos.

- **Diseño preliminar:** En esta fase se produce el desarrollo cualitativo del diseño, se empiezan a plantear soluciones físicas, que satisfagan las especificaciones, y los primeros bocetos. En esta fase se determinará como queremos que sea la solución final del diseño, los rasgos de este y dibujar los primeros bocetos de los diseños que servirán de base para el diseño final de las piezas. En esta fase se tienen en cuenta:

- Materiales
- Mediciones
- Normativa
- Bocetos

- **Diseño en detalle:** Esta fase del proceso esta relacionada con el diseño de subsistemas y componentes que integran el conjunto, independientemente de la naturaleza del producto. Cualquier diseño en detalle deficiente puede arruinar los buenos diseños hechos en fases anteriores, y viceversa. En esta fase de diseño en detalle es necesario recurrir a todos los conocimientos sobre materiales, procesos productivos, técnicas de análisis, nuevas tecnologías en el sector, entorno del componente, estética, etc. El diseñador debe realizar un buen diseño del componente, de forma que encaje perfectamente en el producto global, física y funcionalmente. Se deben tener presentes los siguientes puntos:

- 1- No se debe llevar a cabo el diseño en detalle sin referirse al diseño de fases anteriores.
- 2- La interacción entre distintas áreas que intervienen en el diseño debe considerarse junto con las restricciones que cada una de ellas impone.
- 3- El propio acto de definir un componente dentro de un sistema impone restricciones dentro del mismo.
- 4- El componente más simple y barato no siempre es el más económico dentro del conjunto de diseño.
- 5- La reducción en la variedad de componentes reduce los tiempos y el coste del producto.

6- Es conveniente diseñar pensando en como se va a fabricar.

De cara a mi proyecto en esta fase se habrá definido la pieza final, y será el momento de diseñarla y calcularla al detalle para su posterior mecanización, el proceso de diseñarla lo realizaremos con el programa CATIA, definiendo la pieza con precisión. Se deberán dibujar las piezas con precisión para evitar errores en ella que afecten al producto final.

Seguidamente, una vez diseñadas las piezas, se procederá al cálculo de su resistencia mediante el programa NASTRAN/PATRAN, el cual nos dirá si las piezas pueden funcionar correctamente con los esfuerzos que tienen que aguantar y además nos dará una idea de la vida útil de dichas piezas.

Una vez vistas las morfologías más importantes, la que más se adapta a mi proyecto es la morfología de Asimov. Dicha morfología es una de las más empleadas en el ámbito del diseño.

Se emplea tanto en productos de elevado contenido tecnológico como en productos de carácter artesanal. Establece una serie de pasos que recogen perfectamente el proceso que hay que seguir a la hora de diseñar cualquier producto, no solo estéticamente sino también en el diseño funcional. Además trata otros puntos como la producción, la distribución e incluso la retirada del producto. Debido a que mi proyecto está centrado en el diseño preliminar y diseño en detalle encaja perfectamente en dicha teoría morfológica.

3- Diseño preliminar

1. Definición

En este apartado se van a exponer las distintas tareas que han de realizar de forma general los grupos de ingeniería concurrente en la fase de diseño preliminar. En dicha fase se desarrolla el diseño estético, ergonómico, medioambiental y de elección de materiales. Se parte del diseño conceptual cuando se trata de proyectos de complejidad grande o mediana, y en proyectos de baja complejidad se añade el diseño conceptual a la fase preliminar. En el caso de mi proyecto desarrollaremos la fase de diseño preliminar a partir de la fase de diseño conceptual, que habrá sido desarrollada con anterioridad.

En esta fase de diseño preliminar actúan varios equipos de diseño denominados de ingeniería concurrente de 2º o 3º nivel, por lo establecido en el manual de regulación y organización del proyecto. Estos equipos toman las soluciones conceptuales de los diferentes subsistemas o paquetes de trabajo y procede a efectuar el diseño preliminar y la ingeniería básica del producto y el proceso de fabricación.

Producto de dicha ingeniería básica se obtienen modelos en 3D, simulaciones, prototipos y la pertinente documentación. De los cuales se desarrollarán algunos mas adelante, ya que para realizar el motor de la moto será necesario que el equipo de diseño haga simulaciones, prototipos y cálculos que nos determinen un buen diseño de las piezas rediseñadas.

2. Funciones de los equipos de ingeniería concurrente

Los equipos de ingeniería concurrente que trabajan en las distintas fases del proceso de diseño y desarrollo tendrán fijados:

- Objetivos de fase.
- Entregas que han de hacer los equipos y tiempo de su realización.
- Estado de revisión y aprobación del trabajo e informes de alcance.
- Activación de trabajos siguientes.

Los trabajos a desarrollar en esta fase, partiendo del diseño conceptual y/o de las especificaciones, son:

- Diseño preliminar tecnológico.
- Diseño estético.
- Diseño ergonómico.
- Diseño medioambiental.
- Propuesta de paquetes de trabajo.
- Establecer interfaces y tolerancias.
- Evaluación económica.

El proceso de definición de la ingeniería básica que se desarrolla en la fase del diseño preliminar depende del tipo de producto, y suele incluir el diseño y desarrollo de:

- Arquitectura tecnológica del producto y de los subsistemas.
- Modelos virtuales en 3D para el producto en su conjunto y de los distintos paquetes de trabajo.
- Modelos funcionales y prototipos de casa paquete de trabajo para análisis.
- Modelado y simulaciones de los sistemas mas críticos y menos experimentados con nuevos diseños, para validar su viabilidad, predecir propiedades funcionales y formales en el prototipo, para ahorrar costes y tiempo. En el caso del motor de moto que se va a rediseñar se va a proceder a simular con elementos finitos mediante el programa NASTRAN/PATRAN si los diseños tienen la resistencia suficiente.
- División del proyecto en paquetes de trabajo con fijación de:
 1. Interfaces que garanticen la compatibilidad entre los subsistemas.
 2. Variable de entrada.
 3. Variable de control.
 4. Reacción o actuaciones del sistema sobre otros subsistemas.
 5. Acción de los otros subsistemas sobre el sistema de estudio.
 6. Variables que caracterizan al entorno operacional del sistema.

- Reconsideración y propuesta de estrategias de ingeniería concurrente para conseguir objetivos de calidad, coste, tiempo e innovación.
- Paralelización de actividades del proyecto.
- Estandarización de procedimientos, recursos, herramientas, elementos e interfaces.

3. Estrategia a seguir en el proyecto

En base a toda la información recogida en esta fase de diseño preliminar se puede seguir un plan de proyecto que defina las estrategias de paralelización, integración y estandarización del siguiente modo:

a) Paralelización:

- Modularización (separación en subsistemas).
- Definición y gestión de interfaces.
- Gestión de la información en tiempo real.
- Gestión de actividades críticas.

b) Estandarización:

- Definición integral de las interfaces y módulos de productos.
- Sistema de diseño y construcción interno.
- Definición de interfaces del proceso del proyecto interno y externo.

c) Integración:

- Sistema de diseño y construcción que integra a proveedores y clientes.
- Creación de plataforma de producto.
- Integración de subsistemas.
- Integración de la información.
- Integración externa.

4. Modelado y simulación

En este apartado se procede a desarrollar de forma general el proceso de modelado y simulación en el diseño. Se expondrán tipos de modelos y el proceso de modelado, para pasar a describir la simulación y sus tipos. Durante el proceso de diseño y desarrollo de

un proyecto se procede a desarrollar conjuntamente el producto y el proceso de fabricación que se ha seguir. Así pues, la relación biunívoca que existe entre los requerimientos funcionales y el proyecto terminado, es posible gracias al uso de modelos de muy diversos tipos que representan al producto o al sistema de fabricación.

Cada vez es más común el uso de modelos y de la simulación dada la complejidad de los proyectos y las posibilidades de modelado y simulación que ofrecen las nuevas tecnologías ya que permiten crear gran número de propiedades del producto y del proceso. En el caso de mi proyecto las simulaciones se pueden crear con el programa NASTRAN/PATRAN una vez impuestas las restricciones de cargas para comprobar las deformaciones de las piezas a estudio. El programa CATIA también tiene pequeñas simulaciones de movimiento para detectar posibles colisiones entre piezas.

4.1 Modelado

Se podría realizar una clasificación de los modelos que se pueden emplear:

a) En atención al carácter del sistema:

- Estáticos. Si sus características o atributos no varían con el tiempo.
- Dinámicos. En el caso de que sus características, atributos o símbolos varíen con el tiempo.

Estos pueden dividirse en:

1. Determinísticos. Si no contienen elementos o entradas aleatorias que afecten a la salida o respuesta del modelo.
2. Estocásticos. Es el caso de contener elementos o entradas aleatorias que afecten a la salida o respuesta del modelo.

b) Por su relación con el prototipo. Aquí la clasificación de los modelos se realiza según su relación con el sistema modelado. Se puede establecer la siguiente clasificación:

- Modelos materiales, que a su vez se dividen en:

1. Modelos icónicos, que grafica o visualmente reproducen ciertos aspectos del sistema. Dentro de los modelos icónicos se distingue entre réplicas y cuasiréplicas, caracterizándose estos últimos por la ausencia de una o mas dimensiones del modelado.
 2. Modelos analógicos, que son aquellos que sin tener un parecido directo poseen propiedades esenciales que pueden poner en correspondencia directa con el sistema modelado.
- Modelos simbólicos. En cuanto a los modelos simbólicos, podemos establecer la siguiente clasificación:
1. Modelos descriptivos. Estos modelos, expresados en términos de un lenguaje natural, sólo pueden manipularse y transformarse por medio de reglas formalizadas, en general son ambiguos y redundantes.
 2. Modelos simbólicos matemáticos. En los mismo se elimina la ambigüedad y redundancia, los mas conocidos son los que recurren a símbolos manipulados mediante disciplina matemática, como puede ser la lógica matemática, calculo diferencial, algebra, etc. Dentro de estos modelos matemáticos también reconsideran aquellos que expresan sin ambigüedad un conjunto de datos y operaciones que determinan el comportamiento del sistema. Estos son modelos logarítmicos, utilizados generalmente para simulación por ordenador.
- Modelos estructurales, como diagramas de flujo, diagramas de circuito, gráficos cualitativos, diagramas de bloques funcionales, etc.
- Modelos icónicos, como son dibujos de conjuntos y detalles diédrico, perspectivas, maquetas electrónicas, prototipos, diagramas cinemáticas, cálculos gráficos, ergonómicos, etc. Una parte de mi proyecto se ve reflejada en este tipo de modelado ya que se dibujarán las piezas mediante CATIA y se podrá observar el conjunto del motor montado. De esta forma se podrán observar detalles de las propias piezas y de montaje en el programa.

- Modelos a escalas, como modelos a escalas de vehículos en arcilla, aviones, barcos, comportamiento aerodinámico de resistencia, modelos de instalaciones, etc.
- Modelos analógicos, en los que una propiedad del modelo real es representada por una propiedad de objeto modelo. En muchos casos se emplean modelos analógicos eléctricos para representar y simular sistemas mecánicos, térmicos, etc.
- Modelos matemáticos, dentro de estos tenemos modelos de sistemas continuos mediante sistemas de ecuaciones diferenciales, como es el análisis cinemática y dinámico de mecanismos, y modelos de sistemas discretos. Se realizan análisis de sistemas de fabricación usando tanto modelos de sistemas continuos como discretos. En este apartado entrarían la parte de calculo mediante elementos finitos que se realiza con el programa NASTRA/PATRAN. En dicho programa, se utilizan sistemas continuos que realizan ecuaciones diferenciales para el cálculo de las cargas que actúan en las divisiones malladas que se realizan a las piezas.

4.2 Simulación

La simulación es un proceso por el cual se diseña un modelo de un sistema real y se llevan a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender sobre el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento del sistema.

Las situaciones bajo las que es apropiado usar la simulación son:

- No existe una formulación matemática del sistema que se trata de estudiar, o en caso de existir, no se dispone de modelos analíticos para su resolución.
- Existen modelos y métodos, pero los procedimientos son tan arduos y laboriosos que resulta más sencilla y menos costosa la simulación.
- Se desea experimentar con el modelo antes de construir el sistema.

- Es imposible experimentar sobre el sistema por no tener posibilidad de obtener información del mismo.
- La experimentación es posible, pero razones éticas o legales lo impiden.
- En el caso de querer obtener información de un sistema que evoluciona lentamente, la simulación permite reducir la escala de tiempos.
- La simulación permite estudiar sistemas dinámicos en tiempo real.

Entre los inconvenientes de la simulación se encuentran:

- La construcción de un modelo de simulación de un sistema puede llegar a ser algo muy complejo, muy costoso y que requiere mucho tiempo.
- Con frecuencia ciertos elementos o relaciones del sistema sin importancia aparente se desprecian a la hora de elaborar el modelo y, a causa de ello, los resultados de la simulación son falsos.
- Es difícil, conocer el grado de imprecisión de los resultados de una simulación.

A continuación se exponen algunos tipos de simulación en el diseño de productos y que podrían utilizarse para las piezas del motor de motor y su conjunto.

4.2.1 Simulación técnica

Dentro de esta técnica de simulación se pueden exponer las siguientes:

1. Análisis de modos y efectos de fallo y árbol de fallos. Éstas constituyen dos técnicas en las que se adopta el punto de vista en función de las causas de aptitud funcional del sistema, subsistema, y pieza, así como la forma en que se propaga.
2. Modelos matemáticos. La tecnología, mecánica, electrónica, óptica, química, etc. proveen una gran variedad de modelos de funcionamiento de sistemas técnicos que permiten dar forma a las ideas de diseño, establecer dimensiones y/o valores y predecir propiedades de los sistemas diseñados.

3. Métodos de elementos finitos. Este método permite al diseñador el análisis de sistemas, subsistemas y piezas, que son descompuestas en elementos que reciben el nombre de elementos finitos. Estos elementos se denominan a veces elementos discretos, y el proceso de descomposición de la pieza en estos elementos se llama discretización. Los elementos tienen una determinada forma, según el elemento a modelar. Una vez descompuesta la pieza en elementos (preprocesado) se procede a analizarlos por sus características de deformación, y condiciones de contorno, y los resultados se asocian a la estructura del componente analizado (procesado). Los resultados obtenidos son mostrados mediante una imagen (postprocesado). Este método tiene aplicaciones en el análisis y simulación mecánica, térmica, electromagnética, etc.

Para el caso de análisis y simulación de tensiones el método de los elementos finitos se basa en el uso de valores de rigidez para establecer los desplazamientos de los nodos de la retícula cargada y obtener la tensión de cada elemento. La rigidez del material elástico puede formalizarse con la siguiente expresión: $[F] = [k] [x]$; donde $[F]$: es el vector de carga nodal; $[k]$: es la matriz de rigidez; $[x]$: es el vector de desplazamientos. El desplazamiento varía con la fuerza aplicada y la rigidez permanece constante para un material concreto.

Esta técnica de simulación es la que voy a utilizar en mi proyecto explicando mediante un manual como realizar el estudio de resistencia de las piezas del motor de moto, mediante el método de los elementos finitos, con el programa ya citado NASTRAN/PATRAN. Se realizará la simulación de las piezas más importantes, como son la biela, el cigüeñal y el pistón. Se introducirá la geometría de ellas en el programa y se les dará un determinado material que tendrá unas características bien definidas. Como se explica en este apartado las piezas se descompondrán en elementos sobre los cuales se aplicarán cargas que se definirán con detalle. A continuación se analizarán dichos elementos para conocer las tensiones máximas que sufre la pieza en estudio y saber en que puntos se dan estas. También se realizará la simulación visual que nos dirá la deformación de la pieza en cuestión, y de esta forma podremos estimar aproximadamente como podría deformarse la pieza en la realidad.

En el caso del pistón también se realiza un estudio de resistencia a las temperaturas que se alcanzan en la cámara de combustión, también se realiza una simulación visual para conocer que puntos son los de más temperatura y hasta donde penetra dicho calor.

4. Teorías de fatiga de alto número de ciclos. Las teorías de fatiga estudian las roturas de las piezas debido a las microgrietas que se forman cuando están sometidas a cargas alternadas y a un cierto número de ciclos. La teoría clásica o de alto número de ciclos, que es la que usaremos en los cálculos realizados en el anexo, tiene como puntos fundamentales:

- Se usa para un elevado número de ciclos ($>10^3$).
- El fallo se considera en la aparición de la grieta.
- Existe un gran número de datos experimentales disponibles.
- Curvas S-N: Realiza la estimación de vida a partir de la amplitud de tensiones. En este caso, se parte de un modelo de comportamiento elástico, del cual se extrae un conjunto de ciclos de tensión que se originan a partir de las series temporales de carga. Posteriormente, mediante una serie de factores de concentración se aproxima el estado de tensiones a partir de la tensión en zonas situadas a niveles de carga inferiores al límite elástico.

Para determinar la resistencia de los materiales bajo la acción de las cargas de fatiga, las probetas se someten a fuerzas variables y se cuentan los ciclos de esfuerzo que soporta el material hasta la rotura. Es necesario realizar gran número de ensayos debido a la naturaleza estadística de la fatiga para determinar la resistencia a la fatiga de un material. Se realizan ensayos con distintos niveles de tensión. El primer nivel de carga estará próximo a la resistencia a tracción y el resto son niveles progresivamente inferiores. De estos ensayos resulta el diagrama llamado S-N. En las ordenadas se encuentra la resistencia a fatiga S y en abscisas estará el número de ciclos que corresponda. Dicho diagrama consta de varias rectas que permiten distinguir entre fatiga a bajo número de ciclos ($<10^3$) y de fatiga de alto número de ciclos ($>10^3$). Finalmente hay una recta horizontal que indica el límite de resistencia a fatiga, S_e , del material. Es el límite de resistencia a la fatiga.

Hay muchos datos de pruebas reales provenientes de varias fuentes que concluyen que el límite de fatiga puede estar relacionado con la resistencia a la tracción, de la siguiente forma:

$$Se' = \begin{cases} 0,504 \cdot Sut & \text{para } Sut \leq 1400MPa \\ 700MPa & \text{para } Sut > 1400MPa \end{cases}$$

Donde Sut es la resistencia a tracción y Se' indica el límite de resistencia a fatiga.

Por otro lado, existen una serie de factores modificadores que permiten relacionar el límite de resistencia a la fatiga de un elemento mecánico, Se , con los resultados de resistencia a la fatiga obtenidos con las probetas de ensayo, Se' .

$$Se = Ka \cdot Kb \cdot Kq \cdot Kd \cdot Ke \cdot Kg \cdot Kc \cdot Se'$$

- Factor de superficie Ka : La superficie de la probeta corresponde a un pulido especular. La de la pieza, en general, presenta una rugosidad mayor. La sensibilidad superficial es mayor cuanto mayor es la resistencia del material.
- Factor de tamaño Kb : El factor de tamaño se ha evaluado a partir de datos experimentales. Cuanto mayor sea el volumen de la pieza sometida a tensiones elevadas, mayor será la probabilidad de encontrar un defecto de tamaño crítico que provoque el inicio de la grieta de fatiga.
- Factor de carga Kq : Este factor dependerá exclusivamente de tipo de carga al que esta sometido la pieza. Por ejemplo, flexión rotativa, flexión alternada, carga axial, esfuerzo cortante, esfuerzo de torsión.
- Factor de temperatura Kd : Este factor considera la diferencia de temperatura entre el ensayo realizado y la temperatura de operación. Cuando las temperaturas son bajas, se debe comprobar el fallo frágil, y cuando las temperaturas son altas se debe comprobar el fallo por fluencia. La variación de la resistencia a fatiga se supone similar a la de la resistencia a tracción.

- Factor de concentración de tensiones K_c : El fallo por fatiga es muy sensible a la existencia de la entalla. El efecto de la entalla sobre la resistencia a la fatiga se expresa mediante el factor de concentración de esfuerzo por fatiga, K_f .
- Factor de efectos diversos K_g : Este factor se encarga de cubrir casos excepcionales que puedan ocurrir. Los esfuerzos residuales (tensiones que permanecen en el material en ausencia de carga) pueden aumentar el límite de fatiga cuando son compresivos o disminuirlo cuando son atractivos. Las piezas con temple superficial pueden fallar en la superficie o a la distancia del radio máximo del núcleo, dependiendo del gradiente de esfuerzo.
- Factor de confiabilidad K_c : Debido a que la fatiga es un fenómeno estadístico se utiliza este factor de confiabilidad. La distribución de la resistencia a la fatiga es una distribución normal para un número fijo de ciclos, con una desviación típica o Standard σ . Si se adopta un valor medio de resistencia, significa que el diseño se realiza con una confianza del 50%. Funcionalmente, se diseña para una seguridad funcional del 90%

4.2.2 Prototipos, preseries y plantas piloto

La construcción de maquetas, prototipos e incluso preseries tienen una gran importancia para la simulación de sistemas reales. Así, en una industria química el producto es obtenido en el laboratorio, para posteriormente realizar una producción experimental en una planta piloto y finalmente construir una planta de fabricación a gran escala.

4.2.3 Análisis productivo, logístico, de calidad y fiabilidad

Una vez que se acomete de ingeniería de diseño de producto, se va diseñando el proceso de fabricación del que se puede disponer de información histórica análoga para algunos subsistemas. El equipo de diseño de proceso puede usar técnicas de simulación continua, discreta y software para el modelado y simulación de distintos subsistemas, como SIMAN, ARENA, etc., así como para la fabricación y programación de la producción y mecanizado con sistemas CAM y de control numérico.

4.2.4 Diseño “for” ensamblado

Dentro del conjunto de términos de “diseño for X” se encuentra el diseño para el ensamblado. En el mercado existen paquetes de software que son herramientas de análisis y simulación que permiten analizar y simular el proceso de ensamblado de productos por medio de un modelo matemático, en forma de sistemas de tablas conectadas que contienen características del ensamblado y de las piezas para estimar el tiempo de ensamblado.

4.2.5 Simulación de forma del producto.

En este tipo de simulación se trata de poder efectuar un análisis, modelado y simulación de las funciones estéticas, simbólicas y semánticas de un producto o sistema. Para esto, existen en el mercado un gran número de sistemas informáticos que permiten el modelado y simulación de productos, creando un modelo tridimensional del mismo, asignándole color y texturas, situándolo incluso en un determinado escenario de uso. También permite animar el objeto para crear secuencias de funcionamiento o uso, incluso realizar una película de vídeo o mezclas del modelo animado con imágenes.

4.2.6 Simulación ergonómica

Una vez que un producto a sido diseñado, el modelo geométrico puede ser importado a una aplicación ergonómica, que está dotada de una base de modelos antropométricos ergonómicos que contiene:

- Tablas de distribución de espacios de trabajo.
- Maniqués bi- o tridimensionales.
- Modelos computacionales de humanos.
- Tests.

4.2.7 Simulación económica y medioambiental

La simulación económica, en el caso del diseño y desarrollo de productos, es de gran interés. Así, en base a previsiones de mercado e información de diseño y fabricación, se dispone de modelos parametrizables que nos permiten realizar:

- Análisis, simulación y cálculo de precio de costo.
- Análisis, simulación y cálculo de rentabilidad, formulando un modelo económico del producto.
- Simulación de efectos sobre medio ambiente.

Actualmente tiene gran importancia el poder disponer de modelos que permitan la simulación y predicción de los efectos de los materiales, consumo energético, etc.; de un producto en su ciclo de vida sobre un medio híbrido, sólido o atmosférico. Dentro de estos modelos, uno de los más interesantes es el del análisis del ciclo de vida, existiendo en el mercado herramientas informáticas para el análisis, simulación y gestión de los efectos sobre el medio ambiente por análisis del ciclo de vida.

4.2.8 Simulación social y ética

En el ámbito de los negocios se han desarrollado modelos de juegos de empresa y simulación que, junto con el análisis económico, permiten la simulación de aspectos estratégicos con implicaciones sociales y éticas.

Éstos pueden estar relacionados con:

- Los nuevos productos.
- La fabricación.
- Las ventas.
- Las condiciones laborales.
- Los aspectos legales.

5. Técnicas CAD/CAE/CAM

En este apartado se va a exponer de forma general la importancia del uso de las herramientas CAD/CAE/CAM en una empresa para lograr una mayor eficacia, eficiencia y capacidad de innovación en el diseño. Así como el modo en que pueden ser integradas dichas herramientas en un entorno de ingeniería.

La integración de las herramientas CAD/CAE/CAM es necesaria para obtener el máximo aprovechamiento de las mismas y de las sinergias derivadas del modo en que estas se integran en el entorno de la ingeniería. Dichas herramientas han de elegirse de tal modo que garanticen su integración y facilidad de uso.

Por ejemplo, el programa (CATIA) del que hago uso en mi proyecto se trata de un programa que utiliza herramientas CAD/CAE/CAM para desarrollar diferentes fases de los productos. En mi caso haré uso, en el CATIA, de la parte de CAD con la que generaré la geometría de las piezas del motor de moto y después me dispondré al posterior montaje de dichas piezas.

Siguiendo con las técnicas CAD/CAE/CAM, estas se suelen estructurar mediante una organización modular. Además, dichas herramientas ofrecen diferentes prestaciones a un entorno de ingeniería a modo general:

Sistemas CAD.- Computer Aided Desing.

- Modelado Geométrico: 2D/3D tanto alámbrico, superficial y sólido, paramétrico y variacional.
- Dibujo Técnico: Realización de todo tipo de planos.
- Técnica de Render soportando: luz, color, texturas, etc.
- Animación y realidad virtual.
- Intercambio de ficheros.
- Diseño por feature CAD inteligente.
- Bases de datos gráficas y de propiedades tecnológicas: materiales, tolerancias dimensionales y geométricas, acabados, etc.
- Diseño estético.

Sistema CAE.- Computer Aided Engineering.

- Determinación de propiedades másicas como: volumen, masa, centro de gravedad, momento de inercia, radio de giro, entre otras, de los diseños realizados.

- Análisis Estructural. A fin de determinar la resistencia, rigidez, estabilidad de componentes mecánicos.
- Análisis cinemático y dinámico, a fin de determinar los movimientos y las fuerzas asociadas en mecanismos.
- Análisis térmicos en régimen estacionario y transitorio de fenómenos de conducción y radiación de calor, para predecir el comportamiento frente a temperatura.
- Análisis tensional tanto estático como dinámico.
- Análisis reológico o de fluidos, de interés en la determinación del comportamiento de líquidos, gases y materiales viscosos dentro de los conductos, cavidades y moldes.
- Análisis vibroacústica a fin de determinar las vibraciones libres de componentes, vibraciones debidas a acciones externas y estudios de resonancia.
- Análisis electrostático, magnetostático y electromagnético para el diseño de componentes con partes eléctricas o electrónicas.
- Análisis de choque, impactos, roturas, grandes deformaciones, para predecir el comportamiento de componentes en estado de servicio.
- Simulación de procesos, generación de moldes.
- Simulación de procesos de fabricación, llegando a la fabricación virtual.
- Mecanizado conformado de chapas metálicas, así como el correspondiente análisis y validación de utillaje y fijaciones.

Sistema CAM.- Computer Aided Manufacturing.

- Herramientas de programación y control numérico.
- Simulación de procesos de fabricación por control numérico.

- Programaciones de Robots
- Programación de máquinas ATE.
- Planificación, programación y control de las fabricaciones asistida por ordenador.
- Mantenimiento asistido por ordenador.
- Sistemas de prototipado rápido.

5.1 Sistemas CAD

Un sistema CAD es un conjunto integrado: MAQUINA-ORDENADOR Y PERIFÉRICOS-PROGRAMAS. Según las características del modelo a elaborar y a sus prestaciones, los sistemas CAD se dividen en:

- Sistemas para modelado 2D/3D.
- Sistemas para modelado alámbrico. Wireframe.
- Sistemas para modelado de superficies. Surface Modeling.
- Sistemas para modelado sólido o de volúmenes. Solid Modeling.

Un modelo CAD es una representación matemática de una forma geométrica almacenada en la memoria del sistema CAD en forma de algoritmos.

Las piezas del motor de moto biela cigüeñal y pistón, y sus piezas secundarias, que voy a realizar se realizan con el sistema para modelado 2D/3D del programa CATIA, ya que se trata de piezas sencillas en 3D y no necesitan superficies complejas como podrían darse en otros módulos comentados. Se crearán perfiles de inicio de las piezas mediante Sketch, y después sobre estos se realizarán operaciones pertinentes para dar volumen a las piezas. Se explicarán las herramientas que contiene el modulo 2D/3D que sean necesarias en el transcurso del diseño de las piezas.

También se hará uso de las librerías que trae cargadas el programa CATIA para añadir tornillos al ensamblaje final de todas las piezas.

5.2 Sistemas CAE: Ingeniería Asistida por Ordenador

El CAE podemos definirlo como una herramienta que permite resolver problemas de diseño, combinando información geométrica con información funcional permitiendo de este modo un eficaz y eficiente análisis de ingeniería. Las herramientas CAE ayudan a los miembros del equipo de ingeniería concurrente a analizar, optimizar y documentar los diseños. La fase de diseño CAE se compone de las siguientes subfases:

- Modelado geométrico.
- Análisis.
- Síntesis del Diseño.
- Documentación del análisis.

5.2.1 Método de los elementos finitos

Como ya se ha visto anteriormente, el método de los elementos finitos constituye un método numérico para resolver las ecuaciones diferenciales que modelan un sistema continuo. Dicho método, al igual que en la simulación técnica, anteriormente vista, se utiliza en los programas que usan herramientas CAE, como CATIA que uso para mi proyecto, pero que, sin embargo, no utilizaré en este caso ya que trabajaré con NASTRAN/PATRAN.

Los principios teóricos provienen del cálculo de variaciones, teoremas de energía, principios de elasticidad y otros modelos de la física e ingeniería. Es un potente método para calcular la solución numérica de problemas de análisis de tensiones, transferencia de calor, flujo de fluidos, campos eléctricos y muchas otras áreas.

De una forma general el análisis por elementos finitos tiene por objeto obtener de forma aproximada el valor de las incógnitas de un problema de diseño, modelado como un sistema de ecuaciones diferenciales que constituyen los atributos en esos puntos del sistema físico o estructura, que constituye el producto objeto de análisis.

Para ello se crea un modelo matemático de la estructura, previa división de la misma en nodos y elementos. La ecuación se resuelve para cada nodo.

Los tipos de análisis pueden clasificarse en:

- Lineales y no lineales.
- Estáticos, dinámicos, de fatiga y problemas de campo.

En el mercado existen un gran número de programas informáticos que permiten desarrollar estas tareas de forma interactiva.

5.2.2 Proceso para realizar un análisis por elementos finitos

Para llevar a cabo un análisis estructural hay que seguir los siguientes pasos:

1. Identificar y formular el problema, su geometría, propiedades de los materiales, y decidir si puede ser discretizado con el software de elementos finitos disponible.
2. Definir la geometría del problema usando un sistema CAD o un modelador geométrico.
3. Determinar la geometría y, con los elementos y densidades de malla elegidos por el usuario, realizar el mallado.
4. Aplicar condiciones de contorno, es decir, restricciones al modelo de elementos finitos.
5. Efectuar el cálculo por método de elementos finitos.
6. Analizar el modelo de elementos finitos.
7. Representar, interpretar, y evaluar gráfica y numéricamente el resultado.

Las fases 1, 2, 3 y 4 se denomina preprocesado, la 5 se llama procesado y por último la 6 y 7 postprocesado. En caso de no obtener los resultados que solventan los objetivos del diseño, se procede actuando sobre las fases de preproceso modificando el modelo geométrico o diseño, y de nuevo se realiza el proceso y postproceso.

5.3 Implantación de un sistema CAD/CAE

Las ventajas de la introducción de un sistema CAD/CAE en la empresa varían según el tipo de actividad de diseño, las más interesantes son:

- Aumento de la competitividad.
- Reducción del coste de diseño y producción.
- Aumento de la productividad en la realización del dibujo.
- Incremento de la flexibilidad en la empresa.
- Mejora de la calidad del producto.
- Mejora del entorno de trabajo.
- Reducción del tiempo de diseño y desarrollo.
- Automatización de las tareas del proceso de diseño.
- Sinergias derivadas de los flujos de información.
- Utilización más eficiente de las capacidades del diseño.
- Homogeneización de la tecnología.
- Documentación del diseño más precisa.

Dentro de los aspectos desfavorables podríamos comentar los siguientes:

- Altos costes de adquisición.
- Falta de software adecuado, en algunos casos.
- Estructura inadecuada de la empresa.
- Sistema de producción inadecuado a su incorporación.
- Requerimientos de cualificación del personal.

6. Prototipos

En este apartado se trata el tema de los prototipos en el diseño y desarrollo de productos. Se expondrán las propiedades de los prototipos, así como el tipo de prototipos y su función en el proceso de diseño y desarrollo. También se expondrá la tecnología de los prototipos.

En el ámbito del diseño industrial se entiende por prototipo un modelo físico o virtual de una pieza, subconjunto, mecanismo, producto de las interfaces; realizado con el propósito de suministrar apoyo a modo de información en las fases del diseño y desarrollo del producto, validar o experimentar sobre alguno de sus requerimientos funcionales o características del mismo.

Con el continuo desarrollo de la tecnología de la comunicación, materiales, automatización, técnicas computacionales, ingeniería del software, se ha logrado desarrollar una tecnología de prototipado. Su importancia viene dada por las posibilidades que ofrece para acortar el ciclo de diseño y desarrollo del producto, contribuyendo decisivamente a la estrategia competitiva de time to market y dar apoyo informacional a lo largo del proceso de diseño y desarrollo.

La utilidad de estos prototipos se deriva de la inmediatez de la realimentación de información que proviene de la evaluación del prototipo para la toma de decisiones en el proceso de diseño, pudiendo verificar las características o requerimientos funcionales en el prototipo y determinando las discrepancias en relación a los objetivos de diseño. Estas características se pueden extender a los prototipos virtuales CAD.

Las técnicas de prototipado forman parte de uno de los eslabones de un sistema de diseño y fabricación integrado por ordenador, que a su vez se encuentra relacionado y que se complementa con:

- La realización de prototipos CAD (virtuales) tridimensionales, a partir de los cuales se realizan los prototipos físicos, las simulaciones y análisis. Esta técnica de prototipado es la que utilizo en las piezas del motor de moto ya que primero las genero, a modo de prototipos, mediante CAD en 3D y después una vez terminadas pueden se realizan simulaciones y análisis sobre sus geometría mediante técnicas de simulaciones CAE, como se comenta a continuación.
- Las simulaciones CAE a partir de los modelos CAD 3D para dimensionar, y validar un predimensionado, o bien realizar el dimensionado de elementos bajo condiciones de carga.
- Las tareas de Ingeniería Inversa de la forma, o la función a partir de la digitalización y tratamiento geométrico-informático de la nube de puntos, obtenida por máquinas de coordenadas tridimensionales para la generación de un modelo 3D en sistema CAD, a partir del cual se generarán ficheros para máquinas de prototipado por estereolitografía u otras técnicas de prototipado.

6.1 Propiedades de prototipos

Una de las primeras fases de predicción y evaluación de propiedades en el diseño de los productos industriales la constituyen la simulación de los modelos CAD, es decir, los modelos virtuales.

Se pueden evaluar los distintos tipos de prototipos mediante las siguientes características o requerimientos funcionales:

- Estéticas. Los prototipos permiten evaluar sobre los modelos físicos distintos atributos estéticos, como son: formas, volumen, proporciones, textura e incluso color.
- Dimensionales. Estos prototipos permiten hacer comprobaciones dimensionales, de interferencias, encajes, verificaciones de volúmenes interiores, en el movimiento de un mecanismo y de sus tolerancias.
- Funcionales. Existen prototipos cuyo fin es comprobar que un mecanismo realiza los desplazamientos previstos, verificar la fiabilidad del montaje y las tolerancias del producto.
- Experimentales. Se trata de evaluar la integridad de las características funcionales o de otro tipo del producto, ante determinadas condiciones de contorno que representan su entorno de trabajo simuladas mediante ensayos de envejecimiento, climáticos o sollicitaciones de tipo mecánico, eléctrico, químico, que se aplican sobre prototipos físicos y/o virtuales que dependiendo de los materiales y del tipo de problema se someten a análisis térmico, tensionales, en túnel de viento, etc.

Entre las utilidades que aportan los resultados de estos análisis en los prototipos están:

- Reducir el tiempo de diseño y desarrollo.
- Reducir el coste de diseño y desarrollo, bien por reducir el tiempo o el número de personas en cada fase de diseño y desarrollo.

- Versatilidad de la generación. Consiguiendo variedad de forma, materiales, colores, etc.
- Fiabilidad tanto en dimensiones como en características obtenidas en el producto.

En cuanto a los contextos en los que se reportan ventajas del análisis en los prototipos están.

- Diseño conceptual de los modelos y como apoyo informacional 3D en cualquier fase del proceso de diseño y desarrollo del producto.
- Comercialización: modelos para ofertas, presentaciones, folletos.
- Análisis de aptitudes diversas del producto como es: generación de modelos para análisis en túneles de viento y de tensiones o térmicas.
- Creación de herramientas maestras y útiles para muchos procesos de fabricación.
- Optimización experimental de diseños.

6.2 Parámetros determinantes del tipo de prototipo

Los parámetros más importantes que pueden determinar el tipo de prototipado por el que se puede optar en un proyecto son:

- Dependiendo de que el proceso de prototipado permita obtener piezas en materiales no reales o reales se distingue entre:
 1. Técnicas de primera fase.
 2. Técnicas de segunda fase.
- Por el modo de construir la pieza en el proceso de prototipado.
 1. En capas sucesivas 2D.
 2. Directamente en el espacio 3D.

- Según la dimensiones del producto u objeto a prototipar en relación con las disponibilidades de equipos comerciales.
- Materiales usados para la realización de prototipo, entre los que caben mencionar:
 1. Líquidos. Suelen ser resinas polimerizantes, termoplásticos fundidos o proyectados.
 2. Sólidos. En forma de láminas muy finas: papel, plástico, etc., que pueden ser autoadhesivas o soldadas por polimerización.
 3. Polvo. Éste puede ser metálico, plástico, carbón, etc. Se suelen usar en procesos de sinterización, fusión o aglomerado con cola o resina.
- Según los requerimientos ambientales y de instalación del sistema de prototipado.
- Según la tecnología de solidificación del material:
 1. Materiales líquidos.
 2. Procesos en los que los líquidos polímeros se solidifican por impacto de un haz luminoso.
 3. Procesos en los que el material es fundido, depuesto y solidificado de nuevo.
 4. Procesos en los que el material es fundido y proyectado, solidificando poco después de impactar.
 5. Materiales líquidos:
 6. Las láminas de material son unidas mediante pegado.
 7. Las capas se unen por foto polimerización de placas de plástico semipolarizado.

8. Materiales en forma de polvo.
9. Solidificación de granos mediante fusión.
10. Unión de granos mediante cola.

6.3 Tipos de prototipos y su uso en el proceso de diseño

A continuación se van a explicar algunos de los tipos de prototipos usados en el proceso de diseño y desarrollo.

6.3.1 Prototipos físicos conceptuales

Estos prototipos son de consistencia frágil, bajo el concepto de trozo de papel para esbozo 3Dm que se arruga y tira una vez cumplida su función, obtenidos en fax o impresora 3D en ambiente de oficina, los materiales para su realización son polímeros atóxicos.

Se obtienen proyectando millones de partículas microscópicas de un polímero caliente, que se consolida con el punto de impacto. La tobera tiene cuatro grados de libertad, tres traslaciones y una rotación, que permiten construir cualquier geometría.

6.3.2 Prototipos físicos funcionales

Son los que permiten realizar los correspondientes montajes de las piezas o elementos con todos sus componentes, así como la comprobación mecánica de su funcionamiento, o de otras propiedades tecnológicas.

Una tecnología que permite la obtención de estos prototipos es la sinterización selectiva por láser.

6.3.3 Prototipos ergonómicos

Éstos pueden ser físicos, virtuales de CAD, y sirven para validar la adaptación del producto al usuario. Su escala suele ser 1:1, en otras ocasiones como son modelos virtuales pueden soportar animaciones.

6.3.4 Prototipos virtuales

Éstos son modelos digitales realizados mediante paquetes de software, los cuales posibilitan integrar aspectos multimedia, que permiten evaluar no sólo la relación física entre usuario y producto de los modelos ergonómicos sino también los factores cognitivos relacionados con las demandas de las interfaces, mediante simulación de tareas, que permiten observar el nivel de complejidad con el que el usuario ha de enfrentarse en el uso del producto, la cantidad de actuaciones fallidas o errores, el tiempo de aprendizaje para un correcto desarrollo de las tareas; en definitiva el grado de usabilidad que tendrá el producto.

Por tanto, estos prototipos virtuales y también los físicos permiten evaluar la usabilidad del producto y sus interfaces, la cual puede definirse y caracterizarse del siguiente modo:

Usabilidad: Es la efectividad, eficiencia y satisfacción con la cual un usuario específico logra en determinado objetivo, en un ambiente particular. Los factores que intervienen en el diseño de un producto, sus interfaces, que podemos evaluar en un prototipo son:

- Capacidad de aprendizaje. El tiempo y el esfuerzo requerido para que un usuario alcance un determinado nivel de ejecución en un sistema dado.
- Rendimiento. La velocidad en la ejecución de las tareas, el número y tipos de errores cometidos por el usuario en su realización.
- Satisfacción. Medida del confort, la aceptabilidad y la actitud positiva generada por el servicio en las personas afectadas por el uso.
- Flexibilidad. La capacidad del sistema de poder trabajar con diferentes métodos en función del nivel de experiencia del usuario.

- Efectividad. El grado de exactitud con que el sistema completa as tareas para las que está diseñado.
- Eficiencia. Hace referencia al número de pasos que el usuario debe llevar a cabo para completar las tareas.

Estos factores pueden ser medidos y evaluados en un prototipo virtual de interface, o de producto desde el punto de vista objetivo y subjetivo.

6.4 Proceso de diseño, desarrollo en un producto y requerimiento de prototipado

En este apartado se va a exponer el proceso genérico de diseño y desarrollo de un producto y el modo en el los prototipos aportan información tridimensional a lo largo de este.

- Especificación del producto. En la que se deben escoger las experiencias anteriores, se colabora en e lpliego de especificaciones funcionales y se realiza un análisis de capacidades y recursos. El pliego de especificaciones funcionales puede contener la siguiente información:
 1. Requerimientos funcionales globales, primarios y técnicos.
 2. Coste del producto.
 3. Producción prevista.
 4. Calidad.
 5. Límite del proyecto.
 6. Normativa a cumplir.
 7. Seguridad.
 8. Sistema de montaje.
 9. Tiempo de proyecto.

- Diseño preliminar. Con carácter genérico se desarrollan las siguientes actividades:
 1. Bocetos, diseño formal, estético y ergonómico, pudiendo realizarse modelos de CAD preliminares.
 2. Primeros prototipos virtuales CAD y Multimedia.
 3. Cálculos previstos y análisis CAE.
 4. Primeros prototipos conceptuales físicos.
 5. Análisis y evaluación de las distintas soluciones.
 6. Estudio y preingeniería del sistema de fabricación.

De los resultados de esta fase se pueden derivar las conclusiones que afectan a las etapas anteriores, la salida de la misma tendría una solución que entraría en la siguiente fase de diseño en detalle.

- Diseño de detalle. Tiene como objetivo realizar el diseño detallado del producto y del proceso de fabricación. En esta fase se desarrollan las siguientes actividades:
 1. Modelado, cálculo, análisis CAE y simulación.
 2. Prototipos físicos funcionales, estéticos y análisis de éstos. En función de los resultados de estos análisis pueden generarse modificaciones sobre el diseño, el cual una vez actualizado se tomará como base para la construcción de un nuevo prototipo, que de nuevo será ensayado, repitiéndose este ciclo hasta obtener el diseño que cumpla las especificaciones.
 3. Diseño del sistema de fabricación y simulación del mismo.
 4. Edición del proyecto definitivo; generando planos, lista de materiales, árbol de ensamblado, etc.

6.5 Tecnología de uso en prototipos

Las técnicas para el desarrollo de prototipos están integradas en la tecnología CAD/CAM/CAE, constituyendo un eslabón integrado en el entorno de ingeniería concurrente asistida por ordenador. Las distintas técnicas de generación de prototipos las podemos agrupar en dos categorías:

- a) Técnicas de primera fase. En ésta se obtiene una pieza semejante al a que se diseña de modo directo. Para ello no se tiene por qué partir de materiales reales. Los procesos pueden clasificarse en:

- De aportación de material.
- Por deformación.
- Por eliminación de material.

Estas técnicas se encuentran limitadas en su utilidad funcional y experimental, debido a que los materiales del prototipo no serán en la mayoría de los casos igual a los finales. Las piezas o productos obtenidos por esta técnica son válidos a efectos estéticos, dimensionales, o para la validación analítica por túnel de viento o de otro medio de verificación de propiedades estéticas o tecnológicas.

- b) Técnicas de segunda fase. Consiste en la obtención de piezas en materiales reales en base a un molde obtenido partiendo de una pieza maestra. La pieza maestra se fabricará por cualquiera de las técnicas de primera fase.

Esta última técnica permite fabricar piezas que pueden ser consideradas preserves, con materiales originales o definitivos; ello posibilitará realizar estudios de características funcionales y experimentales. Si bien, para usar estas técnicas con carácter previo hemos de obtener una pieza con técnicas de primera fase.

4- Manual de Catia

1- Cigüeñal


1.1 Muñequilla

Para diseñar el cigüeñal con CATIA abrimos el programa y en el menú superior se da un clic en **Start**, a continuación nos situamos en **Mechanical Design** y se abrirá una nueva ventana en la que elegiremos mediante un clic **Part Design**.

En la parte inferior derecha aparecerá un menú **New Part** en el que se da nombre a la pieza que vamos a diseñar, dejaremos el que sale por defecto, será el part1 y le damos un clic a **Ok**.




Una vez situados en la pantalla principal de diseño, se verán los planos de dibujo en el centro, y nos aparecerán también una serie de paletas en la parte inferior y a la derecha con herramientas diferentes para diseñar.

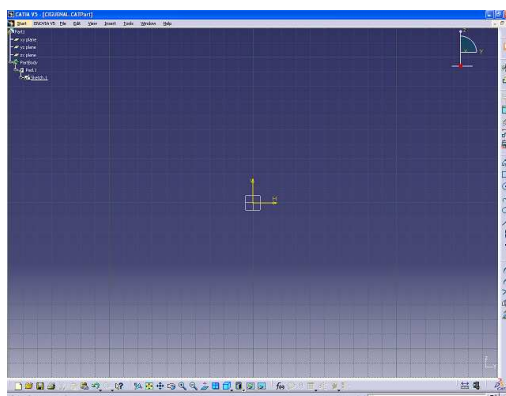
Podemos guardar todas las operaciones que vayamos realizando haciendo clic en la paleta **Standard** en la herramienta **Save**. Al ser la primera vez que la utilizamos nos aparecerá una ventana para guardar la pieza como un archivo catpart en el lugar que creamos correspondiente, y le pondremos el nombre cigüeñal. Daremos clic en **Guardar**. 

Diseñaremos el cigüeñal de tal forma que los planos de referencia queden centrados con respecto a la parte del eje donde va montada la biela. Para ello en la paleta de herramientas **Sketch-Based Features** seleccionamos **Pad**.



Nos aparecerá una ventana en la pantalla denominada **Pad Definition** en la que se podemos seleccionar el tipo y longitud de la extrusión. Pero primeramente se deberá crear el perfil cerrado, para ello seleccionamos la herramienta de **Profile/Surface**  y a continuación daremos clic en el plano en el que deseemos hacer la extrusión. En este caso elegiremos el plano **yz**.

Nos aparecerá una nueva pantalla encuadrada con unos ejes de referencia Vertical y Horizontal en el centro, en esta pantalla se dibujara el perfil de la pieza.

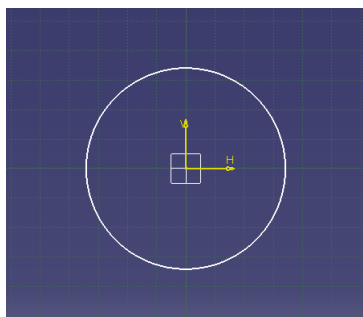


Para un uso mas fluido de las herramientas de dibujo, sacamos la paleta **Sketch Tools** y deseleccionamos la herramienta **Snap To Point**. Si no aparece dicha paleta podemos extraerla haciendo clic con el botón secundario del ratón en la parte inferior derecha, en color gris, pudiendo de esta forma sacar las paletas que queramos.

En nuestro caso el perfil que haremos será un círculo, el cual será la muñequilla del cigüeñal donde vaya montada la biela. Seleccionamos en la paleta **Profile** la herramienta **Circle**.



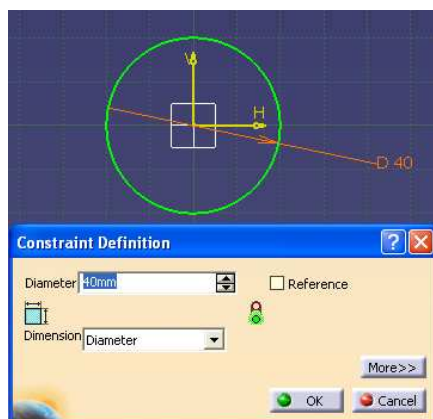
Hacemos clic en el origen de coordenadas el cual será el centro del círculo que queremos realizar. Moveremos el cursor y haremos clic dibujando un círculo cualquiera.



Para dimensionar el círculo seleccionamos en la paleta **Constraint** la herramienta del mismo nombre, la cual nos servirá para acotar los perfiles.




Seguidamente haremos clic sobre el perfil del círculo y aparecerá una cota de color verde la cual fijaremos mediante otro clic. Para cambiar el valor del diámetro del círculo haremos doble clic sobre la cota, nos saldrá una ventana llamada **Constraint Definition** en la que podremos poner el valor del diámetro o del radio segúnelijamos en la opción **Dimension**. En este caso pondremos diámetro y en la opción **Diameter** pondremos 40mm y después clic en **Ok**.

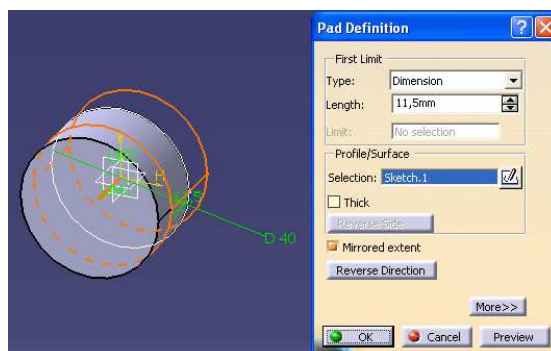


Una vez terminado el perfil habrá que salir del **Sketch** para crear el eje. En la paleta **Workbench** seleccionamos la herramienta **Exit Workbench** para salir de la pantalla de dibujo.





Saldremos a la pantalla inicial en la que aparece una preextrusión del círculo y también la ventana anterior **Pad Definition** para definir la longitud de extrusión. En este caso seleccionamos en la ventana la herramienta **Mirrored extent** para que el sólido se extienda lo mismo a los dos lados del plano medio yz elegido. De esta forma los planos de referencia quedan lo más centrados posibles con respecto a la pieza.

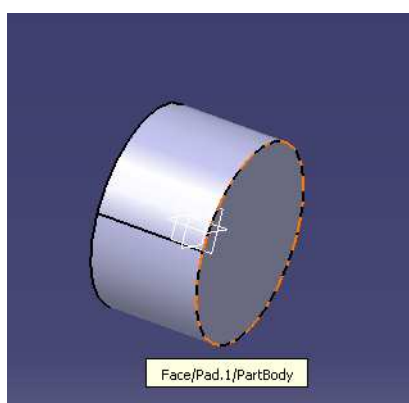
En la orden **Length** pondremos 11,5mm que es lo que se extenderá hacia cada lado ya que la muñequilla tiene 23mm de grosor. Finalmente hacemos clic en **Ok**. Daremos clic en **Guardar** .



1.2 Contrapesos

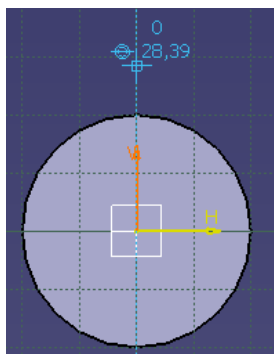
Para diseñar los contrapesos deberemos de tener en cuenta que el eje que pasa por la muñequilla esta excéntrico con respecto al eje que pasa por el centro de los contrapesos. Por lo tanto para dibujarlos habrá que poner el centro a una cierta distancia.

Seleccionamos en la paleta **Sketch-Based Features** la orden **Pad**  y nos saldrá una ventana ya vista llamada **Pad Definition**. Deberemos dibujar el perfil de los contrapesos para después realizar la extrusión de estos. Seleccionamos la herramienta **Profile/Surface**  y la cara plana de la muñequilla sobre la cual queremos dibujar el perfil, seguidamente iremos a la pantalla para realizar el **Sketch**.

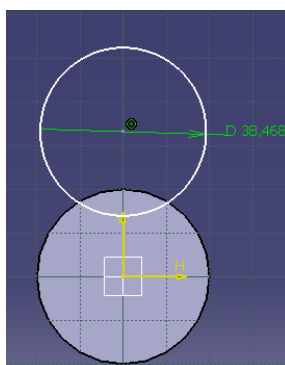


En la paleta **Profile** elegimos la orden **Circle**, seguidamente nos situamos con el cursor sobre la prolongación imaginaria del eje de referencia Vertical, ya que los centros de la

muñequilla y del contrapeso tienen que estar en la misma vertical. Al colocarnos sobre dicha vertical aparecerá una línea discontinua infinita azul en la que el cursor parecerá quedarse fijo. Daremos clic en dicha vertical en cualquier punto que será el centro de la circunferencia que se generará.



Pondremos una circunferencia de radio cualquiera, que estará a una altura cualquiera.

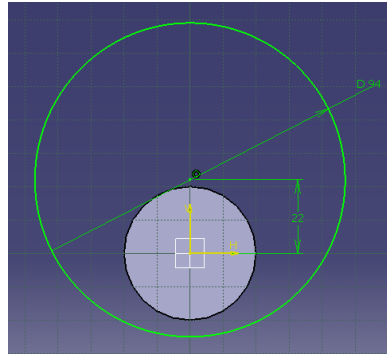



Para poner las medidas seleccionamos en la paleta **Constraint** la herramienta **Constraint** para acotar. Daremos clic sobre el perfil de la circunferencia y después otro para fijarla. Seguidamente doble clic sobre la cota para cambiar la dimensión y ponerla según nuestras medidas. Veremos la ventana **Constraint Definition** en la que pondremos un diámetro de contrapeso de 94mm y daremos a **Ok**.

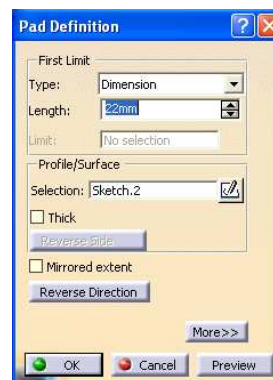
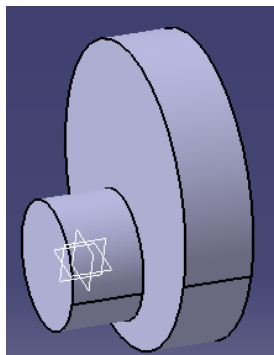


Ahora habrá que fijar a que altura estará el centro de dicho perfil. Para ello volvemos a seleccionar la orden **Constraint** y hacemos clic en el eje de referencia Horizontal, se pondrá en color naranja, y después seleccionamos el centro de la circunferencia del

contrapeso que también se pondrá naranja. Una vez hecho esto nos saldrá la cota de altura que fijaremos mediante un clic. Daremos valor a la cota dando doble clic sobre ella y nos aparecerá una ventana en la que en la orden **Value** situaremos la medida en nuestro caso 22mm y daremos a **Ok**. El perfil quedará de la siguiente forma.



Saldremos del **Sketch** seleccionando la orden **Exit Workbench**  y volveremos a la pantalla inicial para realizar la extrusión. En la ventana **Pad Definition** en la orden **Length** pondremos la anchura del contrapeso en este caso 22mm. Daremos a **Ok**. Se creará el sólido de un contrapeso.

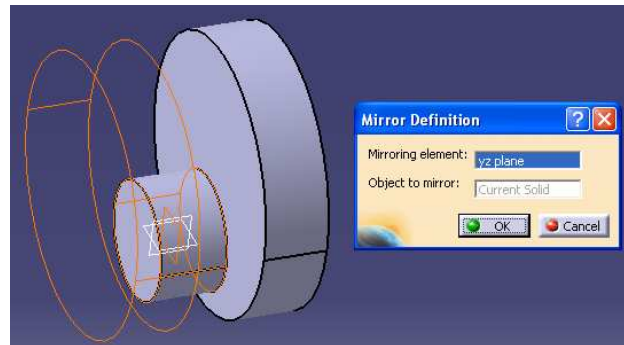



Para construir el otro contrapeso, tendremos la ventaja de poder utilizar el plano de referencia yz como plano de simetría gracias a haber hecho la muñequilla con la herramienta **Mirrored extent**.

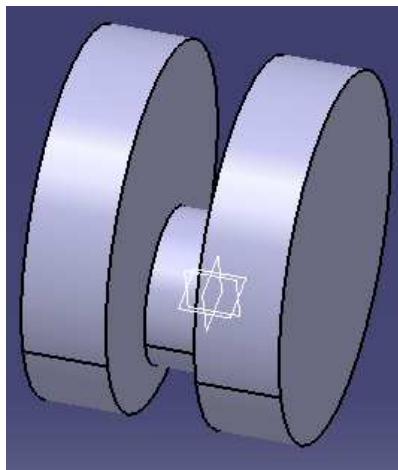
En la parte derecha de la ventana encontraremos una paleta llamada **Transformation Features**, en caso de no encontrarla la podemos seleccionar dando clic con el botón secundario del ratón en un punto a lo largo de la banda gris de las paletas. Dentro de esa paleta encontraremos la orden **Mirror**, con la cual copiaremos el contrapeso mediante simetría.



Una vez seleccionada deberemos elegir un plano o una cara de simetría, en este caso será el plano yz en el cual haremos clic, automáticamente aparecerá al otro lado de la muñequilla el otro contrapeso en color naranja daremos clic en **Ok**. De esta forma tendremos los dos contrapesos. (En caso de no aparecer automáticamente el contrapeso lo podemos seleccionar en el **Pad2** del árbol de operaciones después de haber seleccionado el plano).





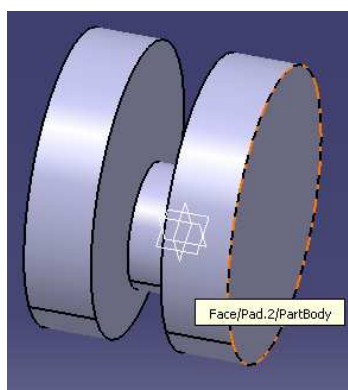
El cigüeñal después de dibujar los dos contrapesos quedarán como en la figura. Daremos clic en **Guardar** .



1.3 Apoyos y eje de transmisión del cigüeñal

El resto del cigüeñal que queda por dibujar son los apoyos y el eje que transmitirá el movimiento rotativo. Estos sólidos estarán en el mismo eje que los contrapesos y por tanto los diseñaremos apoyándonos en ellos.

Seleccionamos en la paleta **Sketch-Based Features** la orden **Pad**  como ya hemos visto anteriormente y nos saldrá una ventana llamada **Pad Definition**. Para dibujar el eje nos apoyaremos la cara del contrapeso para hacer el perfil sobre ella y realizar la extrusión. Seleccionamos la herramienta **Profile/Surface**  y la cara plana del contrapeso sobre la cual queremos dibujar el perfil, seguidamente iremos a la pantalla para realizar el **Sketch**.

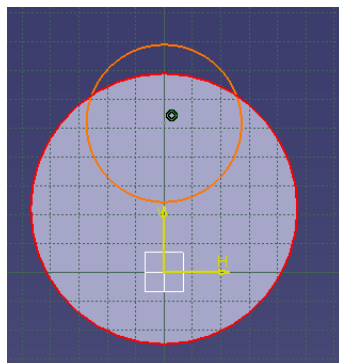



En la paleta **Profile** seleccionamos la herramienta **Circle**, movemos el cursor hasta la prolongación del eje de referencia Vertical, como se ha visto anteriormente, y se hace clic en un punto generando una nueva circunferencia, volvemos a hacer clic para situarla con un radio y altura cualquiera.

Para un mejor diseño del cigüeñal realizaremos los ejes de apoyo concéntricos respecto del contrapeso. Para ello buscamos la paleta **Constraint** en ella hay una orden llamada **Constraints Defined in Dialog Box** que por el momento aparecerá desactivada.



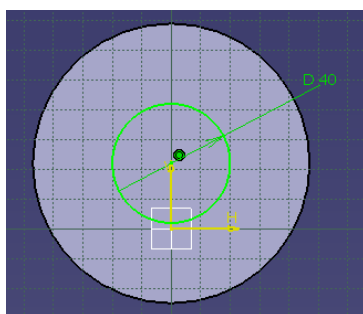
Una vez localizada con el cursor haremos clic sobre el perfil que acabamos de hacer, seguidamente pulsamos la tecla **Control** del teclado y hacemos clic sobre el borde que delimita del contrapeso, en color negro. Tendremos la circunferencia última en color naranja y el borde del contrapeso en color rojo de la siguiente forma.



Si volvemos a buscar la herramienta **Constraints Defined in Dialog Box**  la veremos activada y la seleccionaremos. Nos aparece una ventana con una serie de restricciones que podemos usar con las circunferencias elegidas. Seleccionaremos la restricción de concentricidad llamada **Concentricity** y daremos a **Ok**. El perfil dibujado se moverá del tal forma que su centro coincidirá con el del contrapeso y ambos ejes serán concéntricos.



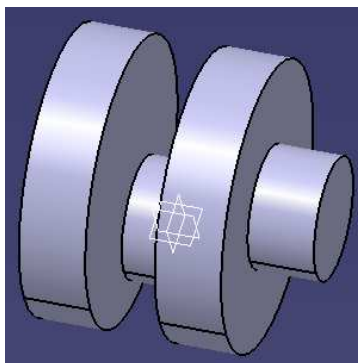
Ahora solo queda dar un valor al diámetro de la circunferencia, en la misma paleta seleccionamos **Constraint** y hacemos clic sobre el perfil para poner la cota. Seguidamente doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** pondremos un diámetro de 40mm. Daremos a **Ok**.



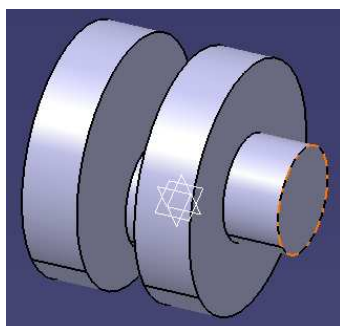
Una vez terminado saldremos del **Sketch** haciendo clic en la orden **Exit Workbench**



para volver a la pantalla inicial donde veremos la ventana **Pad Definition**. Definiremos la longitud de extrusión del eje que en este caso serán 29mm. Daremos a **Ok** y quedará definido de la siguiente forma:



Volvemos a la paleta **Sketch-Based Features** y seleccionamos la aplicación **Pad** , volviendo nuevamente a abrirse la ventana **Pad Definition**. Para dibujar el nuevo perfil volvemos a seleccionar la orden **Profile/Surface**  y después la cara exterior del eje. Entraremos automáticamente a la pantalla del **Sketch** para dibujar el perfil.

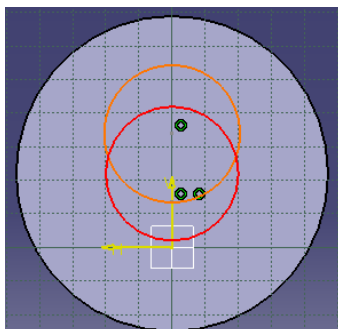



En la paleta **Profile** seleccionamos la orden **Circle** como ya se ha visto. Después moveremos el cursor hasta la prolongación del eje Vertical haciendo clic en un punto cualquiera para generar la circunferencia, volvemos a hacer clic para situarla con un radio y una altura cualquiera.

Para un mejor diseño de los apoyos realizaremos este último eje concéntrico respecto del anterior. Para ello buscamos la paleta **Constraint** en ella hay una orden llamada **Constraints Defined in Dialog Box** la cual estará desactivada.



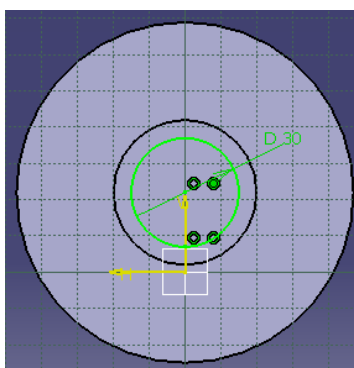
Con el cursor haremos clic sobre el perfil que acabamos de hacer, seguidamente pulsamos la tecla **Control** del teclado y hacemos clic sobre el borde que delimita el sólido anterior, en color negro. Tendremos la circunferencia última en color naranja y el borde de lo otro eje en color rojo de la siguiente forma.





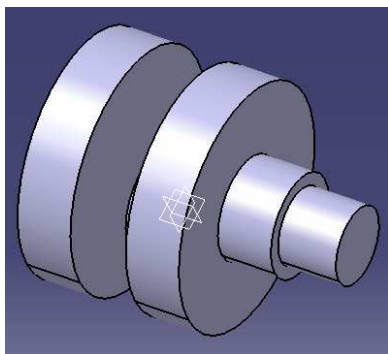
Ahora la herramienta **Constraints Defined in Dialog Box**  estará activada y la seleccionaremos. Nos aparece una ventana con una serie de restricciones que podemos usar con las circunferencias elegidas. Seleccionaremos la restricción de concetricidad llamada **Concentricity** y daremos a **Ok**. El perfil dibujado se moverá del tal forma que su centro coincidirá con el del eje anterior y ambos ejes serán concéntricos.





En la misma paleta seleccionamos **Constraint** y hacemos clic sobre el perfil para dimensionar. Seguidamente hacemos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** pondremos un diámetro de 30mm. Daremos a **Ok**.

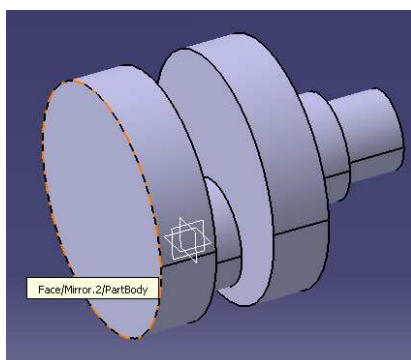


Saldremos del **Sketch** haciendo clic en la orden **Exit Workbench**  para volver a la pantalla inicial donde aparecerá la ventana **Pad Definition**. Definiremos la longitud de extrusión del apoyo que en este caso serán 24mm. Daremos a **Ok** y quedará definido el apoyo del cigüeñal de un lado. Daremos clic en **Guardar** .



Queda por dibujar los apoyos del otro lado del cigüeñal y el eje que transmitirá el movimiento rotativo.

Seleccionamos en la paleta **Sketch-Based Features** la orden **Pad**  como ya se a visto y nos saldrá la ventana **Pad Definition**. Para dibujar el eje nos apoyaremos la cara del contrapeso para hacer el perfil sobre ella y realizar la extrusión. Seleccionamos la orden **Profile/Surface**  y la cara plana del contrapeso sobre la cual queremos dibujar el perfil, seguidamente iremos a la pantalla para realizar el **Sketch**.

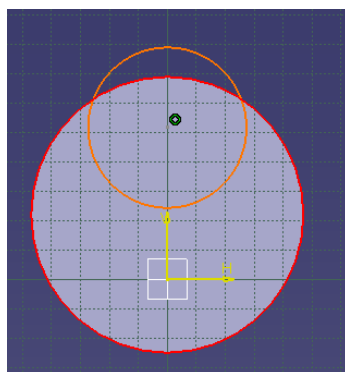



En la paleta **Profile** seleccionamos la orden **Circle**, después moveremos el cursor hasta la prolongación del eje de referencia Vertical, y se hace clic en un punto generando una nueva circunferencia, volvemos a hacer clic para situarla con un radio y altura cualquiera.

Realizaremos los ejes de apoyo igual que los del otro lado, es decir, concéntricos respecto del contrapeso. Para ello buscamos la paleta **Constraint** en ella hay la orden **Constraints Defined in Dialog Box** que estará desactivada.



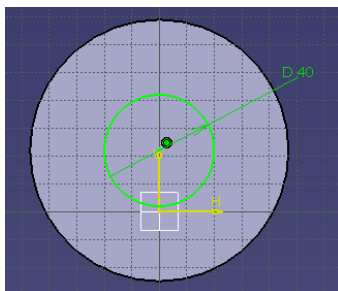
Moveremos el cursor y haremos clic sobre el perfil que acabamos de hacer, seguidamente pulsamos la tecla **Control** del teclado y hacemos clic sobre el borde que delimita del contrapeso, en color negro. Tendremos la circunferencia última en color naranja y el borde del contrapeso en color rojo de la siguiente forma.




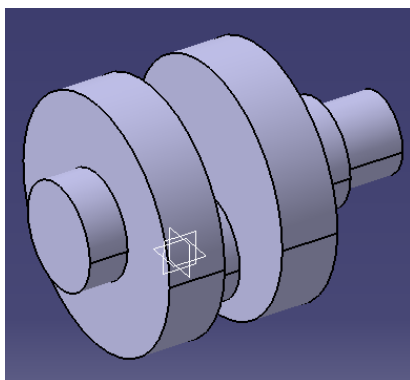
Ahora **Constraints Defined in Dialog Box**  la veremos activada y la seleccionaremos. Nos aparece la ventana con las restricciones que podemos usar con las circunferencias elegidas. Seleccionaremos la restricción de concentricidad **Concentricity** y daremos a **Ok**. El perfil dibujado se moverá del tal forma que su centro coincidirá con el del contrapeso y ambos ejes serán concéntricos.





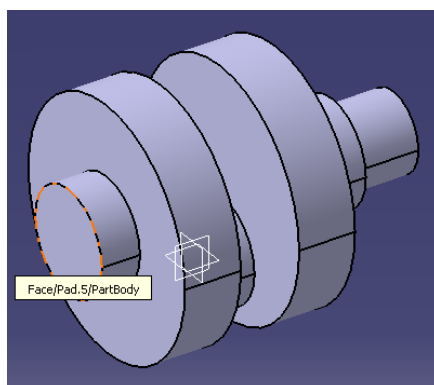
Ahora solo queda dar un valor al diámetro de la circunferencia, en la misma paleta seleccionamos **Constraint** y hacemos clic sobre el perfil para poner la cota. Seguidamente doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** pondremos un diámetro de 40mm. Daremos a **Ok**.



Una vez terminado el perfil saldremos del **Sketch** haciendo clic sobre la orden **Exit Workbench**  para volver a la pantalla inicial donde veremos la ventana **Pad Definition**. Definiremos la longitud de extrusión del eje que en este caso serán 15mm. Daremos a **Ok** y quedará definido de la siguiente forma:



Volvemos a la paleta **Sketch-Based Features** y seleccionamos la aplicación **Pad** , volviendo nuevamente a abrirse la ventana **Pad Definition**. Para dibujar el nuevo perfil volvemos a seleccionar la orden **Profile/Surface**  y después la cara exterior del apoyo. Entraremos automáticamente a la pantalla del **Sketch** para dibujar el perfil.

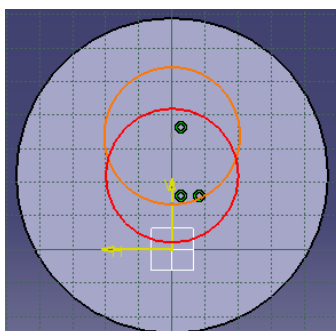



Seleccionamos en la aplicación **Profile** la orden **Circle** como anteriormente. Después moveremos el cursor hasta la prolongación del eje Vertical haciendo clic en un punto cualquiera para generar la circunferencia, volvemos a hacer clic para situarla con un radio y una altura cualquiera.

Para dibujar los apoyos realizaremos este último eje, concéntrico respecto del anterior. Para ello buscamos la paleta **Constraint** en ella hay una orden llamada **Constraints Defined in Dialog Box** la cual estará desactivada.



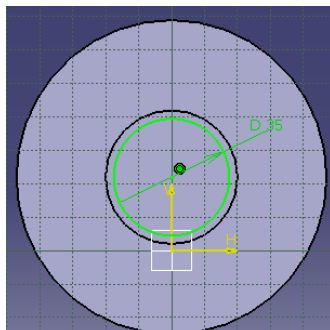
Con el cursor haremos clic sobre el perfil que acabamos de hacer, seguidamente pulsamos la tecla **Control** del teclado y hacemos clic sobre el borde que delimita el sólido anterior, en color negro. Tendremos la circunferencia última en color naranja y el borde de lo otro eje en color rojo de la siguiente forma.




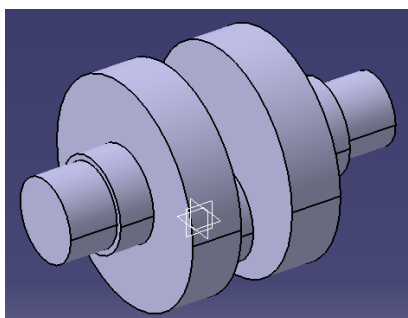
Comprobamos que en la paleta **Constraint** la herramienta **Constraints Defined in Dialog Box**  estará activada y la seleccionaremos. Nos aparece la ventana con las restricciones que podemos usar con las circunferencias elegidas. Seleccionaremos la restricción de concentricidad llamada **Concentricity** y daremos a **Ok**. El perfil dibujado se moverá del tal forma que su centro coincidirá con el del eje anterior y ambos ejes serán concéntricos.





En la misma paleta seleccionamos **Constraint** y hacemos clic sobre el perfil para dimensionar. Seguidamente hacemos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** pondremos un diámetro de 35mm. Daremos a **Ok**.

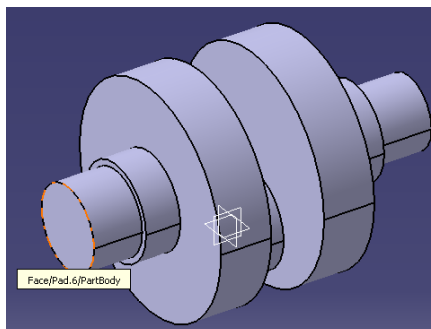


Saldremos del **Sketch** haciendo clic en la orden **Exit Workbench**  para volver a la pantalla inicial donde aparecerá la ventana **Pad Definition**. Definiremos la longitud de extrusión del apoyo que en este caso serán 21mm. Daremos a **Ok**.



La siguiente operación para terminar el cigüeñal será construir el eje de transmisión con su agujero de la chaveta.

Como en las operaciones anteriores en la paleta **Sketch-Based Features**, seleccionamos la aplicación **Pad** , volviendo nuevamente a abrirse la ventana **Pad Definition**. Para dibujar el nuevo perfil volvemos a seleccionar la orden **Profile/Surface**  y después la cara exterior del apoyo. Entraremos automáticamente a la pantalla del **Sketch** para dibujar el perfil.

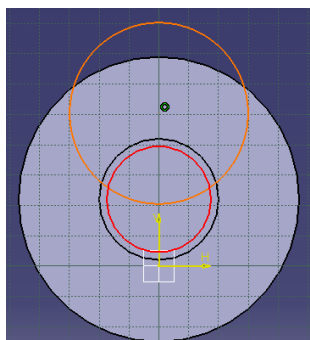


En la aplicación **Profile** hacemos clic en **Circle**. Después moveremos el cursor hasta la prolongación del eje Vertical haciendo clic en un punto cualquiera para generar la circunferencia, volvemos a hacer clic para situarla con un radio y una altura cualquiera.


Para dibujar el eje de transmisión lo haremos concéntrico respecto del apoyo anterior. Para ello buscamos la paleta **Constraint** en ella hay una orden llamada **Constraints Defined in Dialog Box** la cual estará desactivada.



Con el cursor haremos clic sobre el perfil que acabamos de hacer, seguidamente pulsamos la tecla **Control** del teclado y hacemos clic sobre el borde que delimita el sólido anterior, en color negro. Tendremos la circunferencia última en color naranja y el borde de lo otro eje en color rojo de la siguiente forma.

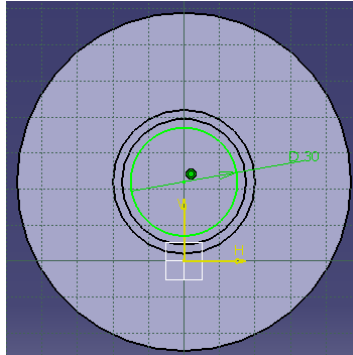




Seguidamente en la paleta **Constraint** veremos la herramienta **Constraints Defined in**

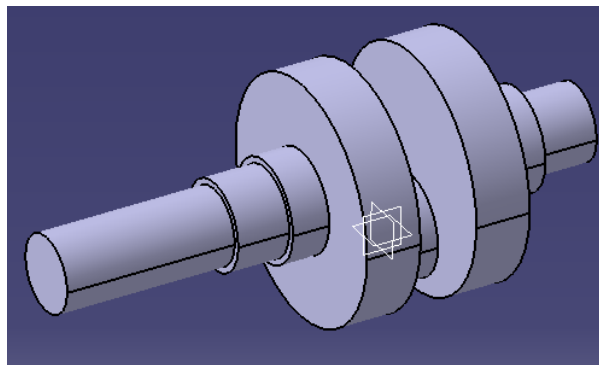
Dialog Box  activada y la seleccionaremos. Nos aparece la ventana con las restricciones que podemos usar con las circunferencias elegidas. Seleccionaremos la restricción de concentricidad llamada **Concentricity** y daremos a **Ok**. El perfil dibujado se moverá del tal forma que su centro coincidirá con el del eje anterior y ambos ejes serán concéntricos.



En la misma paleta seleccionamos **Constraint** y hacemos clic sobre el perfil para dimensionar. Seguidamente hacemos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** pondremos un diámetro de 30mm. Daremos a **Ok**.




Saldremos del **Sketch** haciendo clic en la orden **Exit Workbench**  para volver a la pantalla inicial donde aparecerá la ventana **Pad Definition**. Definiremos la longitud de extrusión del apoyo que en este caso serán 69mm. Daremos a **Ok**. Daremos clic en **Guardar** .



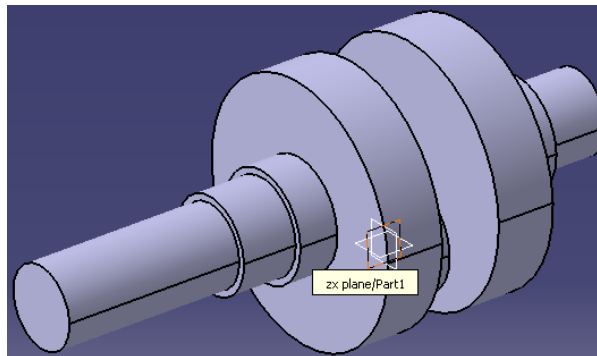
Ahora procederemos a dibujar el agujero de la chaveta, para ellos elegiremos el plano medio del eje en el que dibujaremos el perfil. En este caso dicho plano será el **zx**.


En la paleta ya vista **Sketch-Based Features**, localizaremos la herramienta **Pocket** la cual nos servirá para realizar el agujero.



Nos aparecerá una ventana en la pantalla llamada **Pocket Definition** en la que podemos definir el tipo y la longitud de agujero. Además habrá una orden llamada **Profile/Surface**  con la que dibujaremos el perfil de nuestro agujero, es la misma que la vista anteriormente.

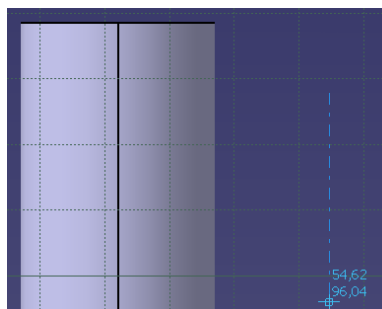
Una vez seleccionada la orden **Profile/Surface** habrá que elegir un plano sobre el que dibujar, elegiremos el zx, sobre el cual haremos clic.



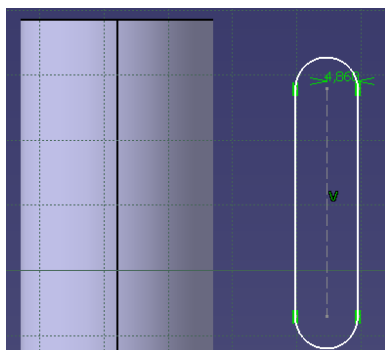
Automáticamente iremos a la pantalla del **Sketch**. Una vez en ella en la paleta **Profile** localizamos una herramienta llamada **Rectangle**, debajo de ella podremos encontrar una flecha negra sobre la cual haremos clic para abrir un menú de herramientas . Una vez desplegado buscamos una orden llamada **Elongated Hole**.




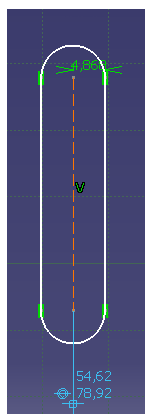
Una vez localizada haremos zoom sobre el eje de transmisión para tener mas comodidad a la hora de dibujar. Seleccionamos la orden **Elongated Hole** y hacemos clic en un punto de la pantalla cercano al eje de transmisión, después moveremos el cursor hacia abajo de tal forma que la línea discontinua sea azul, es decir, vertical.



Después volvemos a hacer clic en otro punto dando a la línea azul una longitud cualquiera. Una vez terminada la línea, al mover el cursor hacia la derecha o izquierda nos aparecerá un perfil como el de la figura. Para terminarlo volveremos a hacer clic con una anchura cualquiera.



Seguidamente en la paleta **Profile** seleccionamos una herramienta llamada **Line** . Moveremos el cursor hasta la semicircunferencia inferior del perfil donde aparecerá una línea de referencia azul, que nos indicará que estamos situados en la misma línea vertical que el eje del perfil.




Una vez situados hacemos clic para colocar el primer punto de la línea y movemos el cursor hacia arriba verticalmente dividiendo el perfil en dos, haremos otra vez clic para fijar la línea.

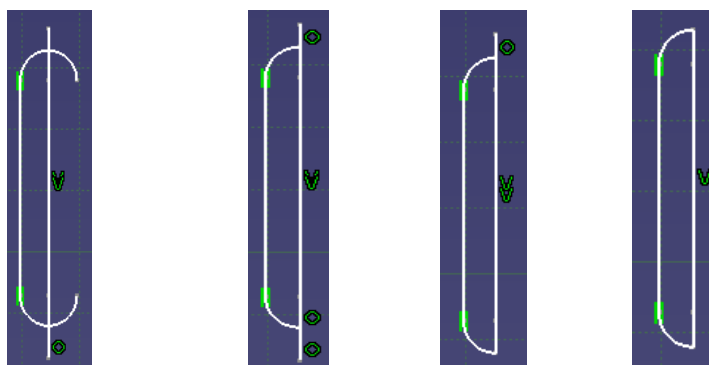


Ahora solo quedara borrar las líneas que sobran y situar el perfil del agujero en la posición del eje donde debe estar.


En la barra de operaciones derecha encontramos una paleta llamada **Operation**, en ella habrá una orden denominada **Trim**, debajo de ella habrá una flecha negra en la cual haremos clic desplegando un menú nuevo.

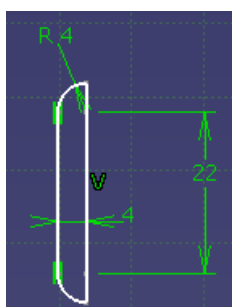


En dicho menú seleccionaremos la herramienta **Quick Trim** , haremos doble clic sobre ella para poder borrar varias líneas. Seguidamente borraremos la parte derecha de nuestro perfil y las líneas sobrantes haciendo clic sobre ellas, como se indica a continuación.

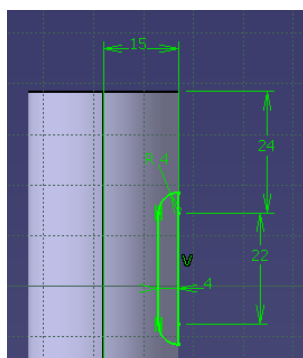



Acabado el perfil deberemos acotarlo y situarlo en el eje de transmisión. En la paleta

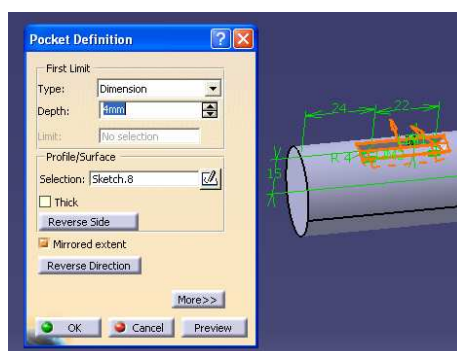
Constraint haremos doble clic sobre la orden **Constraint**  para acotar varias veces seguidas. Daremos clic sobre el cuarto de circunferencia y situaremos la cota mediante otro clic. Cambiaremos el valor de la cota haciendo clic sobre ella y poniendo 4mm de radio. Después acotaremos la altura del perfil para ellos haremos clic en los centros de los cuarto de circunferencia, fijaremos la cota mediante un clic y después cambiaremos el valor a 22mm. Ahora acotaremos la anchura haciendo clic sobre las líneas verticales, finado la cota y después con un doble clic cambiamos el valor a 4mm.



Ahora situaremos el perfil en el eje de transmisión. Seguiremos con la herramienta **Constraint** activada y haremos clic en el centro del cuarto de circunferencia superior y después en la parte final del eje de transmisión, de esta forma situaremos el perfil a lo largo del eje. Daremos clic para fijar la cota y doble clic para cambiar su valor, pondremos 24mm. Después seleccionamos el eje central de la transmisión y la línea vertical derecha del perfil para situarlo sobre el eje de transmisión. Haremos doble clic sobre la cota después de fijarla y pondremos un valor de 15mm que será el radio del eje.



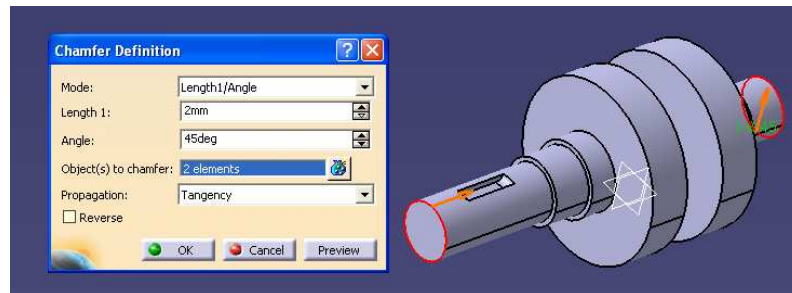
Para acabar saldremos del **Sketch** mediante **Exit Workbench**  y saldremos a la pantalla inicial del cigüeñal donde veremos la ventana **Pocket Definition**. En ella seleccionamos la opción **Mirrored Extent**, para hacer el agujero en dos direcciones y después en la orden **Depth** pondremos la anchura hacia cada lado que será de 4mm, en total 8mm de anchura de agujero. Daremos a **Ok**.




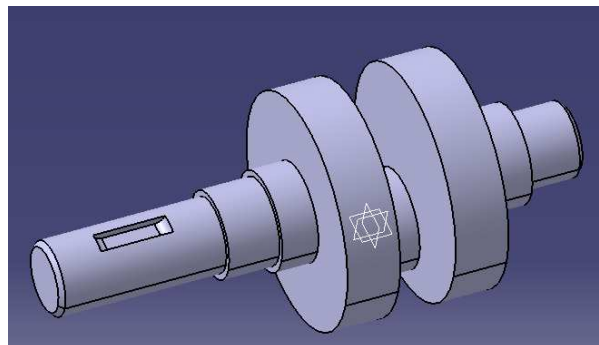
Para acabar el cigüeñal haremos los chaflanes. En la barra de operaciones derecha encontraremos una paleta llamada **Dress-Up Features** y en ella seleccionamos la orden **Chamfer**.



Nos saldrá una ventana con varias órdenes para rellenar. La primera será **Mode** en la que pondremos **Length/Angle**. Los parámetros de estos aparecen debajo y pondremos en **Length** 2mm y en **Angle** pondremos 45. Después en **Objects to Chamfer** veremos que pone **No Selection**, habrá que elegir las aristas del cigüeñal que queramos, en nuestro caso las dos de los extremos, las seleccionamos con un clic en cada una. Después daremos a **Ok**.



Con esta última operación ya podemos dar por terminado nuestro cigüeñal. El cual quedara como en la figura. Daremos clic en **Guardar** .



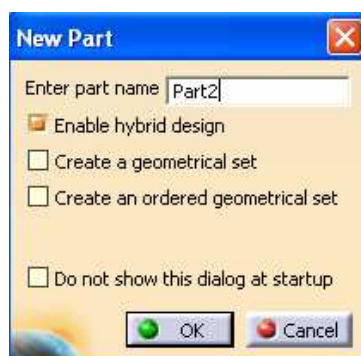
2- Biela


La biela esta formada por dos piezas que se unen mediante tornillos, una pieza será la parte superior de la biela y la otra será la contrabiela que será la otra mitad del apoyo inferior.

2.1 Apoyo inferior de la biela

Vamos a diseñar la parte inferior de la biela que consta del medio apoyo inferior de esta. Nos situamos en la pantalla inicial de encendido de CATIA y en el menú superior se da un clic en **Start**, a continuación nos situamos en **Mechanical Design** y se abrirá una nueva ventana en la que elegiremos mediante un clic **Part Design**.


Nos aparecerá una ventana llamada **New Part** en el que se dará un nombre a la pieza a realizar, como anteriormente el nombre que sale por defecto es Part1, pero como ese nombre es el del cigüeñal en este caso pondremos Part2 y daremos a **Ok**.




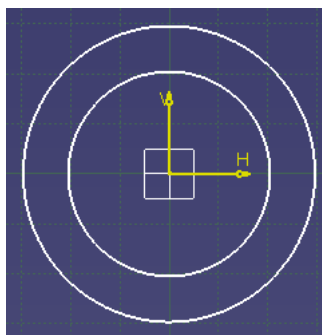
Una vez situados en la pantalla principal de diseño, empezaremos a diseñar la biela apoyándonos en los planos y las paletas anteriormente usadas. Aunque lo primero que haremos será guardar la pieza en nuestro archivo. Para ello en la paleta **Standard** hacemos clic en , nos saldrá la ventana **Save As** en la que pondremos el nombre Biela y daremos a Guardar una vez buscado el directorio que queramos.


Como anteriormente intentaremos que en la pieza diseñada queden los planos centrados respecto a esta. En la paleta **Sketch-Based Features** hacemos clic en la orden **Pad**.

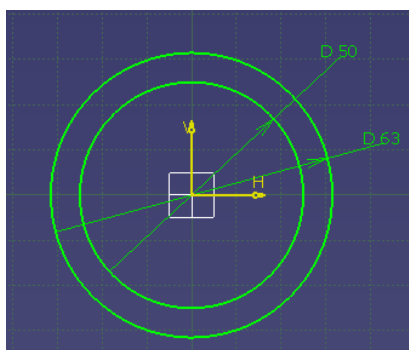



Nos saldrá la ventana ya vista **Pad Definition** en la que daremos a la herramienta **Profile/Surface**  para dibujar el perfil del apoyo inferior. Una vez seleccionada deberemos elegir un plano sobre el que dibujar, en este caso haremos clic en el plano **yz**.

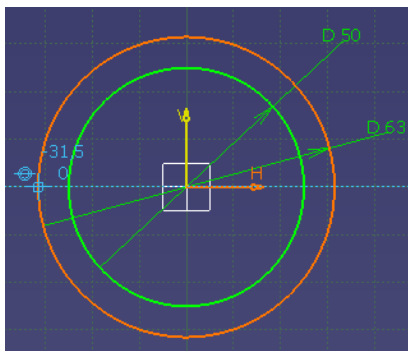
Una vez en la pantalla del **Sketch** dibujaremos el apoyo inferior utilizando, en la paleta **Profile**, la herramienta **Circle** . La seleccionamos y hacemos clic en el centro de los ejes para crear una circunferencia que tendrá un radio cualquiera y volveremos a hacer clic para mantenerla. Volveremos a ejecutar la orden **Circle** y haremos otra circunferencia con el mismo centro que la anterior pero será de diámetro mayor.



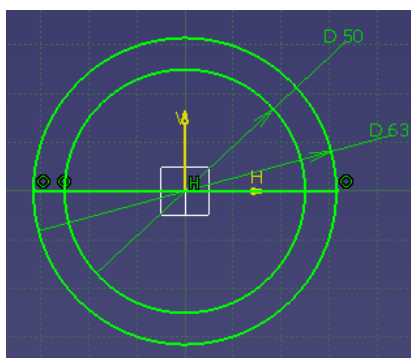
Ahora acotaremos las circunferencias, en la paleta **Constraint** haremos clic en la orden **Constraint**  y seleccionaremos con el cursor la circunferencia más pequeña, nos saldrá su cota la cual fijaremos con otro clic. Volveremos a seleccionar **Constraint** para acotar la otra circunferencia. Les daremos un valor los diámetros haciendo doble clic sobre la cota, aparecerá la ventana **Constraint Definition** y en **Diameter** pondremos en la circunferencia pequeña 50mm y en la grande 63mm. Daremos a **Ok**.




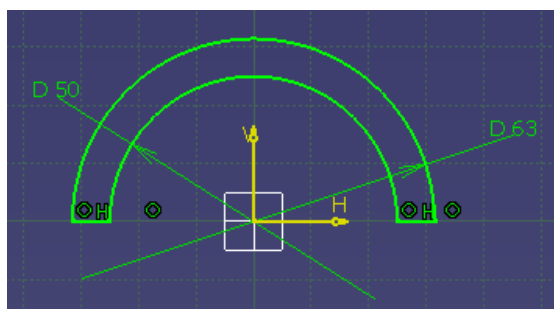
Seguidamente eliminaremos media circunferencia. Para ello en la paleta **Profile** seleccionamos la orden **Line** . Moveremos el cursor hasta el punto de la circunferencia exterior que corta con la prolongación del eje Horizontal.




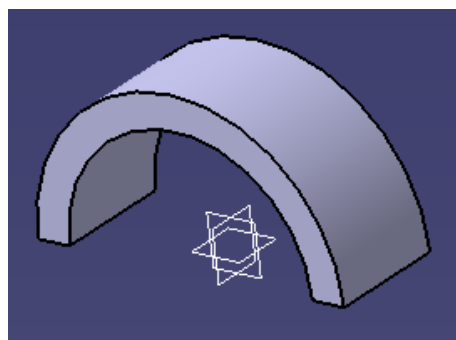
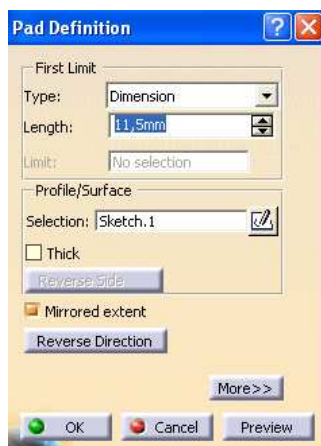
Haremos clic y ese punto será el inicio de la línea que divide las circunferencias. Desplazaremos la línea y daremos clic para finalizarla en el punto opuesto de la circunferencia exterior.



Una vez finalizado borraremos las líneas sobrantes. En la paleta **Operation** desplegaremos el menú de la orden **Trim** dando clic en la flecha negra. Seleccionaremos con doble clic la herramienta de borrar **Quick Trim** . Con el cursor haremos clic en las medias circunferencias inferiores y en la línea central. Nos quedará de la siguiente forma.



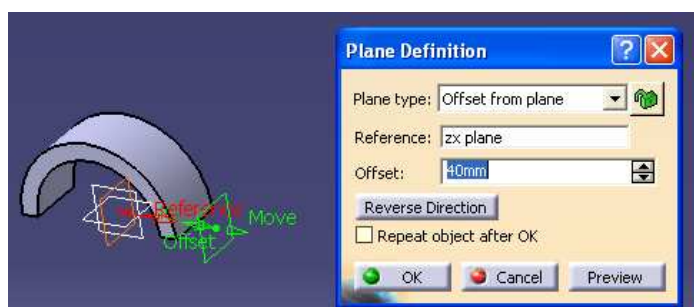
Acabado el **Sketch** saldremos de este haciendo clic en **Exit Workbench**  para acabar el **Pad**. En la ventana **Pad Definition** seleccionaremos la opción **Mirrored extent** para que la extrusión deje centrados los ejes. Para acabar en la orden **Length** pondremos una anchura de 11,5mm. Daremos a **Ok**.





Para acabar el apoyo inferior solo queda realizar el diseño de la parte de la pieza que servirá para unirla a la contrabiela mediante tornillos. Para ello en la pantalla inicial localizaremos la paleta **Reference Elements** (si no aparece se puede buscar haciendo clic con el botón secundario del ratón en la zona gris de las barras de operaciones), seleccionaremos la orden **Plane**.



Aparecerá una ventana llamada **Plane Definition** en la que podremos elegir las características del plano que queremos crear. En la opción **Plane Type** dejamos por defecto la orden que sale **Offset from plane**, creará un plano a una distancia de un plano de referencia elegido. En **Reference** elegimos haciendo clic el plano **zx** y en **Offset** pondremos 40mm. Daremos a **Ok**.

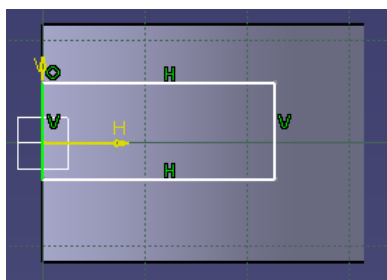



A continuación en la paleta **Sketch-Based Features** haremos clic en **Pad** . Se abrirá la ventana **Pad Definition** y seleccionaremos la pestaña **Profile/Surface**  para dibujar el **Sketch**, además nos pedirá seleccionar el plano sobre el que dibujar, haremos clic sobre el plano creado a 40mm del de referencia.

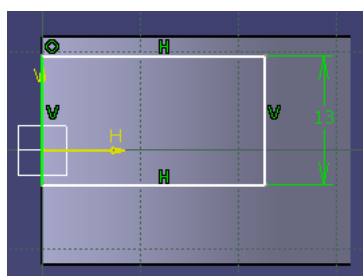
Hacemos zoom sobre la zona de dibujo que nos atañe, y seleccionamos en la paleta **Profile** la herramienta **Rectangle**.



Llevaremos el cursor hacia el eje de referencia Vertical y haremos clic en un punto de este, seguidamente al mover el cursor aparecerá un rectángulo que podremos poner a nuestro gusto. Moveremos el cursor hacia la derecha y haremos clic con una medida cualquiera.

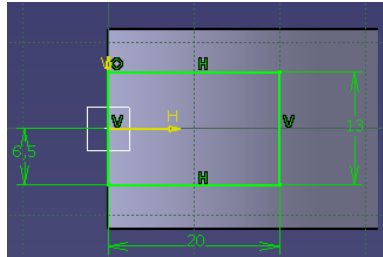



Acotaremos el rectángulo con la herramienta ya vista **Constraint** . La seleccionamos y haremos clic primero en el lado superior y después en el lado inferior del rectángulo, después clic para fijarla. Cambiaremos el valor de esta cota y pondremos 13mm de ancho en la orden **Value** de la ventana **Constraint Definition**. Daremos a **Ok**.

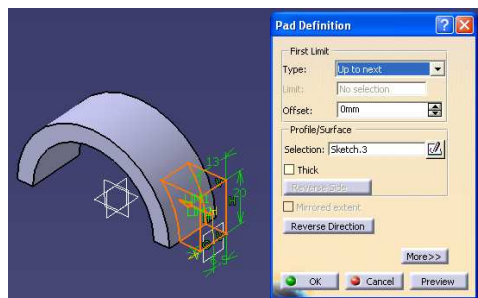


Después acotaremos la altura del rectángulo con la misma herramienta, haciendo clic en el lado izquierdo y después en el lado derecho del rectángulo. Haremos doble clic sobre la cota y pondremos un valor de 20mm.

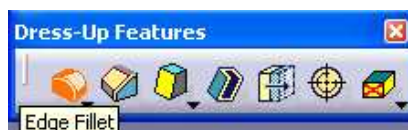
Para acabar centraremos el rectángulo con respecto al eje Horizontal. Acotaremos dando clic en el eje Horizontal y después en uno de los lados horizontales del rectángulo. Fijaremos la cota y con doble clic cambiaremos el valor por 6,5mm. Daremos a **Ok**.



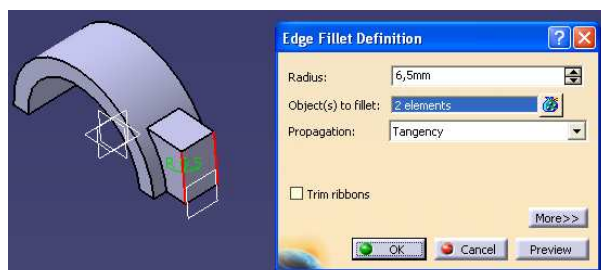
Saldremos del **Sketch** mediante **Exit Workbench** . Nos aparecerá la ventana de **Pad Definition** y en el dibujo saldrá una simulación de cómo se realiza la extrusión. Si dicha extrusión aparece hacia el exterior deberemos hacer clic en la ventana sobre la herramienta **Reverse Direction**. En esta ocasión no pondremos ninguna anchura de extrusión, sino que esta llegará hasta la cara exterior del apoyo que será curva. Para ello en la ventana veremos la orden **Type** la cual desplegaremos, haciendo clic en la flecha, y elegiremos la opción **Up to Next**, hará la extrusión hasta la cara siguiente. Daremos a **Ok**.



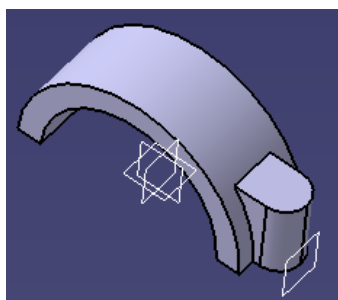
La siguiente operación será hacer un redondeo en los dos vértices exteriores, para ello utilizaremos en la paleta ya vista **Dress-Up Features** la orden **Edge Fillet**, la seleccionamos.



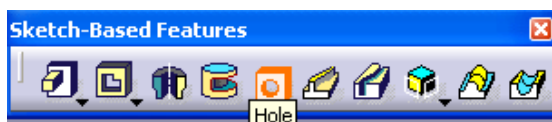
Aparecerá una ventana llamada **Edge Fillet Definition** en la que podremos poner el radio que queramos en la opción **Radius** en este caso pondremos 6,5mm. En la siguiente opción, **Objects to Fillet**, seleccionaremos los dos vértices exteriores haciendo clic.



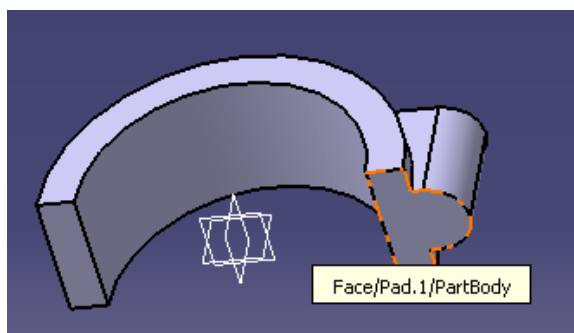
Acabaremos la operación dando a **Ok**.



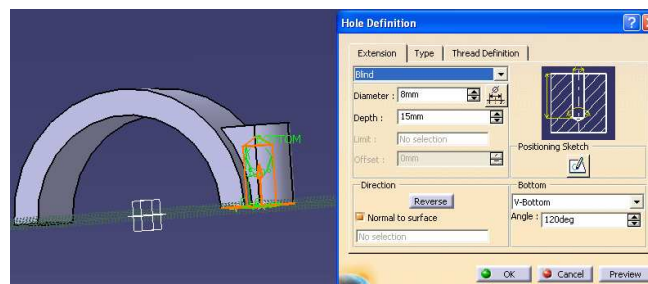
Ahora haremos el agujero del tornillo, en la paleta **Sketch-Based Features** seleccionamos la orden **Hole**.





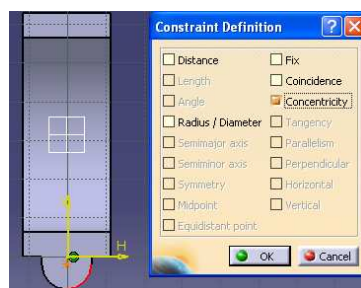
Al seleccionar la herramienta deberemos también elegir una cara sobre la que hacer el agujero, en este caso será la cara inferior de la extrusión ya que el tornillo empezará a roscar de ahí y el agujero no será pasante.



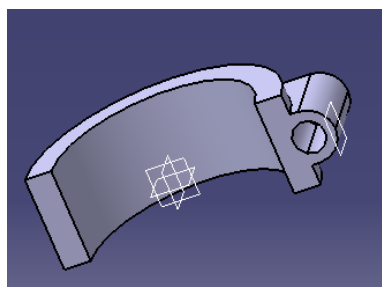
Saldrá una ventana llamada **Hole Definition** en la cual aparecen varias pestañas en las que podremos definir todas las características del agujero roscado. La primera pestaña **Extension** elegiremos que nuestro agujero no sea pasante haciendo clic en la flecha negra y dándole a la opción **Blind**. En la siguiente opción pondremos un diámetro de 8mm que hará referencia a la rosca. En la opción **Depth** pondremos la profundidad que serán 15mm. Para acabar en la opción **Bottom** desplegaremos el menú haciendo clic en la flecha y elegiremos **V-Bottom**, por defecto el ángulo será 120deg.



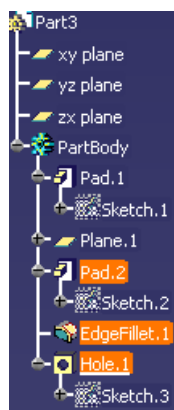
Por último habrá que situar el agujero concéntrico al redondeo de la pieza. Para ello haremos clic en **Positioning Sketch** . Una vez en la pantalla del **Sketch** podemos hacer zoom sobre el dibujo para situar mejor el punto. Hacemos clic en el punto pulsamos la tecla Control y después sobre la curva del redondeo, después en la paleta **Constraint** elegimos la orden **Constraints Defined in Dialog Box**  para poner una restricción de concetricidad del agujero. Añadimos en la ventana **Concentricity**. Hacemos clic en **Ok**.




Salimos del **Sketch** mediante **Exit Workbench**  y damos a **Ok**. En la ventana de **Hole Definition**.




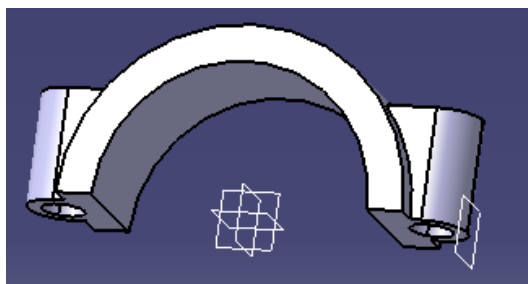
Para acabar este apoyo inferior tendremos que copiar las operaciones mediante simetría. Primero, y debido a que hay más de una operación por copiar, elegimos en el árbol de operaciones las que queramos copiar por simetría dando clic con la tecla Control pulsada. **Pad.2**, **EdgeFillet.1** y **Hole.1**.





Como ya se ha visto en la paleta **Transformation Features** encontramos la herramienta **Mirror** , la seleccionamos y en la ventana **Mirror Definition** encontramos la orden **Mirroring Element** para seleccionar el plano sobre el que hacer simetría, en nuestro caso será en plano **zx** sobre el cual haremos clic. Daremos después a **Ok**.




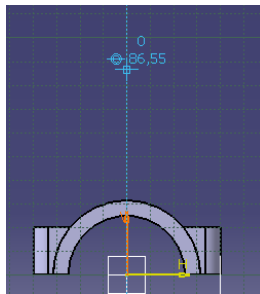
Para acabar pulsaremos **Ok** y habremos acabado el apoyo inferior. Seguidamente guardaremos .



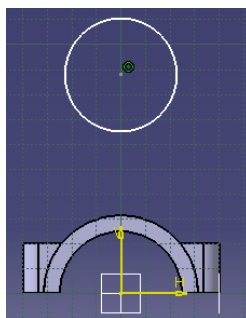
2.2 Apoyo superior de la biela

Ahora diseñaremos el apoyo superior, lo dibujaremos en el mismo plano que el apoyo inferior. En la paleta **Sketch-Based Features** hacemos clic en la orden **Pad** . En la ventana ya vista **Pad Definition** daremos a la herramienta **Profile/Surface**  para dibujar el perfil del apoyo superior. Una vez seleccionada deberemos elegir un plano sobre el que dibujar, en este caso volveremos a elegir el plano **yz**.

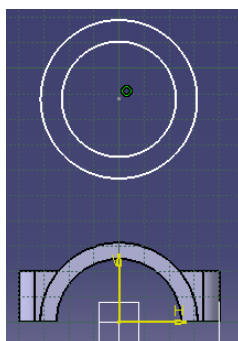
Aparecerá la pantalla del **Sketch** donde dibujaremos el apoyo superior. En la paleta **Profile**, haremos clic en la herramienta **Circle** . Moveremos el cursor hasta colocarnos en la prolongación del eje Vertical por encima del apoyo inferior ya dibujado.




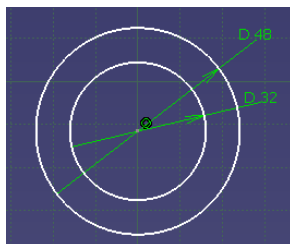
En un punto cualquiera haremos clic y fijaremos la circunferencia con otro clic.




Volveremos a ejecutar la orden **Circle** y haremos otra circunferencia con el mismo centro que la anterior pero será de diámetro mayor.





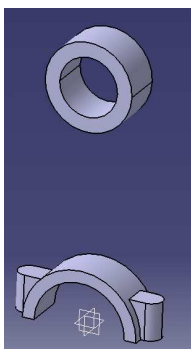
Acotaremos las circunferencias con la orden **Constraint** , seleccionaremos con el cursor la circunferencia más pequeña, nos saldrá su cota la cual fijaremos con otro clic. Volvemos a seleccionar **Constraint** para acotar la otra circunferencia. Les daremos un valor los diámetros haciendo doble clic sobre la cota, aparecerá la ventana **Constraint Definition** y en **Diameter** pondremos en la circunferencia pequeña 32mm y en la grande 48mm. Daremos a **Ok**.





Además este apoyo superior estará a una altura determinada del apoyo inferior. Lo acotaremos seleccionando la orden **Constraint**  y haremos clic primero en el centro de coordenadas de los ejes y después en el centro de las circunferencias dibujadas. Fijaremos la cota con un clic y cambiaremos el valor de la altura a 130mm. Daremos a **Ok**.




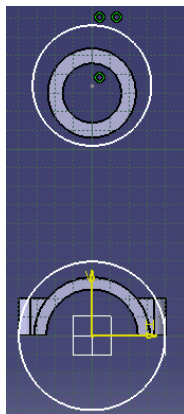
Una vez finalizado el diseño del apoyo en el **Sketch** saldremos de este haciendo clic en **Exit Workbench** . En la ventana **Pad Definition** seleccionaremos la opción **Mirrored extent** para que la extrusión deje centrados los ejes. Para acabar en la orden **Length** pondremos una anchura de 11,5mm. Los dos apoyos tienen la misma anchura. Seguidamente guardaremos .




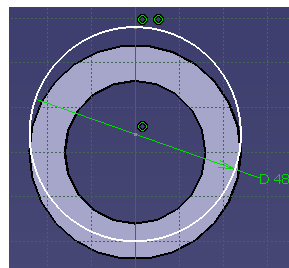
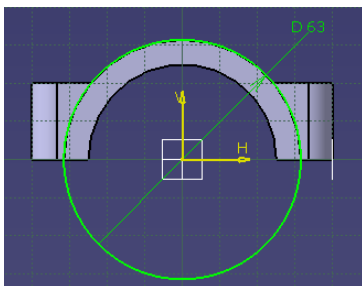
2.3 Cuerpo de la biela

Vamos a realizar el cuerpo de la biela que unirá los dos apoyos de esta. Una vez situados en la pantalla inicial con los dos apoyos anteriormente diseñados, en la paleta **Sketch-Based Features** hacemos clic en la orden **Pad** . En la ventana **Pad Definition** hacemos clic en la herramienta **Profile/Surface**  para dibujar el perfil del cuerpo de la biela. Una vez seleccionada deberemos elegir un plano sobre el que dibujar elegimos el plano **yz**.

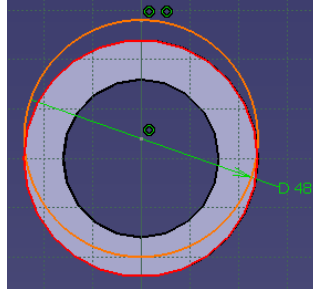
Una vez que estamos en el **Sketch**, en la paleta **Profile**, haremos doble clic en la herramienta **Circle**  con la cual volveremos a dibujar las circunferencias de los apoyos. Movemos el cursor hasta el centro de los ejes de coordenadas donde haremos clic para crear una circunferencia. Iremos al apoyo superior y haremos otro clic para crear otra circunferencia.




Seguidamente daremos a la tecla **Escape** para deseleccionar la orden **Circle** después en la paleta **Constraint** seleccionamos con doble clic **Constraint** , daremos clic en la circunferencia inferior y después en la superior para acotarlas. Con doble clic cambiaremos sus valores y pondremos 63mm en la inferior y 48mm en la superior.

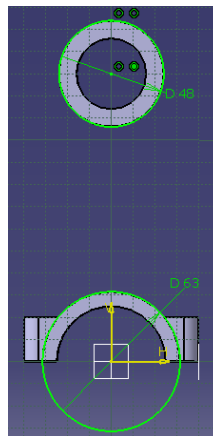



Para situar la circunferencia superior hacemos clic en la circunferencia y después con la tecla Control pulsada hacemos clic en el borde exterior del apoyo.

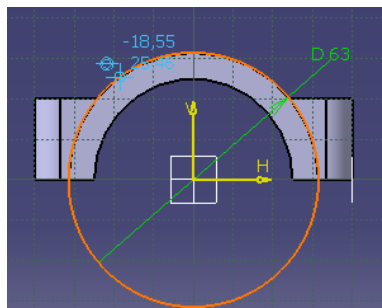


Seleccionamos a continuación en la paleta **Constraint** la herramienta **Constraints**

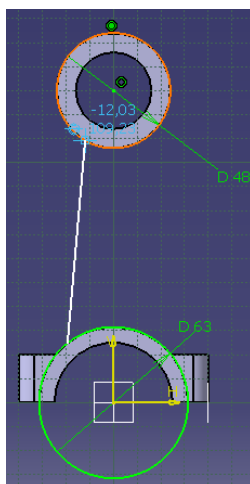
Defined in Dialog Box  y añadimos la opción **Concentricity** para situar la circunferencia. Le damos a **Ok**.




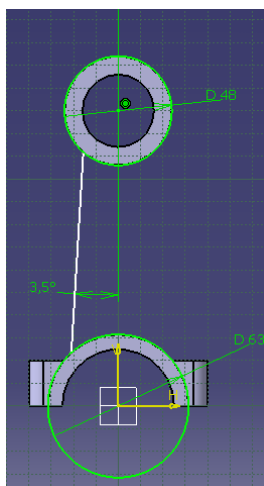
En la paleta **Profile** seleccionamos la orden **Line** , con la cual hacemos clic en un punto de la parte superior en la circunferencia inferior.




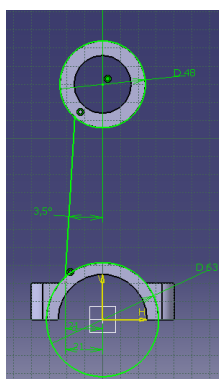
Dicha línea la llevamos hasta la parte inferior de la circunferencia superior donde hacemos clic.



Una vez obtenida la línea habrá que acotarla, para ello en la paleta **Constraint** seleccionamos con un clic **Constraint** . Hacemos clic sobre la línea y seguidamente sobre el eje de referencia Vertical, fijamos la cota con otro clic. Esta cota hará referencia al ángulo de la línea dibujada con respecto al eje, como sabemos que el cuerpo de la biela tiene 8 grados entre sus lados hacemos doble clic sobre la cota y ponemos 3,5 grados en la orden **Value**. Daremos a **Ok**.



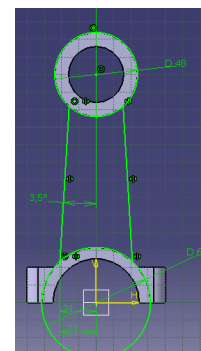
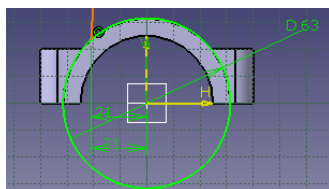
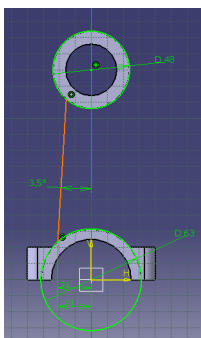
Volvemos a seleccionar **Constraint**  y hacemos clic sobre el punto de corte de la línea con la circunferencia inferior y después sobre el eje de referencia Vertical. Fijaremos la cota y cambiaremos su valor a 21mm. Daremos a **Ok**.




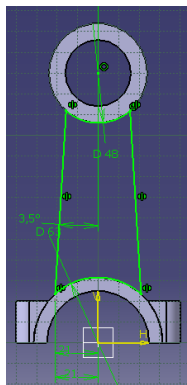
Ahora en la paleta **Operation** seleccionamos la herramienta **Mirror** para hacer simetría de la línea.





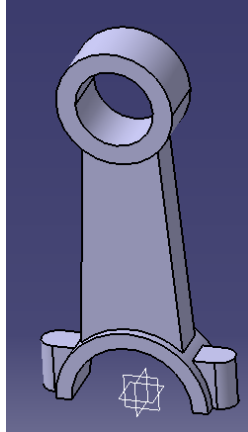
A continuación haremos clic sobre la línea y después sobre nos pedirá el eje de simetría, elegiremos el eje de referencia Vertical. Automáticamente aparecerá la línea simétrica a la dibujada.



Ahora en la misma paleta **Operation** seleccionamos la orden **Trim**  para borrar los trozos de círculo sobrantes. Para ello hacemos doble clic en la herramienta y con el cursor seleccionamos las entidades a borrar, el trozo de círculo inferior del apoyo inferior y el trozo de círculo superior del apoyo superior.




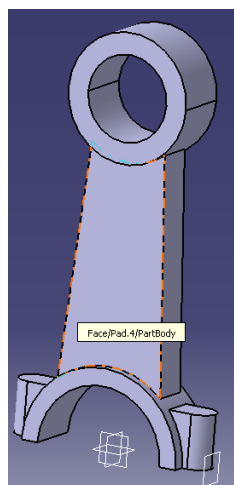
Una vez finalizado el diseño del cuerpo en el **Sketch** saldremos de este haciendo clic en **Exit Workbench** . En la ventana **Pad Definition** seleccionaremos la opción **Mirrored extent** para que la extrusión deje centrados los ejes y en la opción **Length** ponemos una anchura de 7,5mm. Para finalizar damos a **Ok** y seguidamente hacemos clic en **Save** .




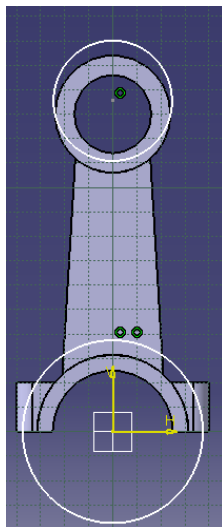
El cuerpo de la biela tiene un vaciado de material que vamos a diseñar a continuación. Seleccionamos en la paleta **Sketch-Based Features** la herramienta **Pocket** la cual nos servirá para realizar el vaciado.




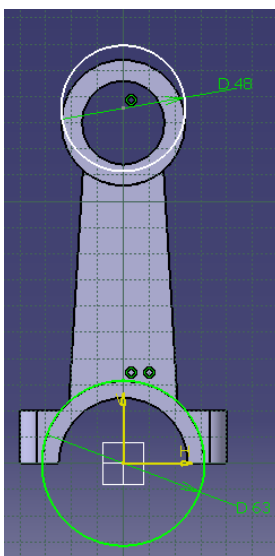
En la ventana **Pocket Definition** hacemos clic en la pestaña **Profile/Surface**  y seguidamente elegimos la cara frontal del cuerpo de la biela donde dibujaremos el perfil.



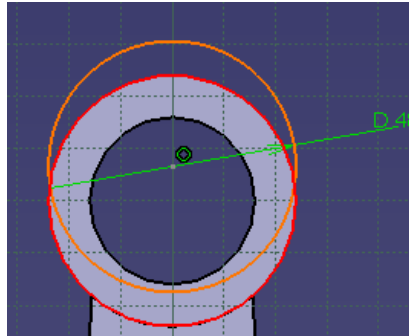
En la pantalla del **Sketch** localizamos la paleta **Profile** hacemos doble clic en la orden **Circle** . Como en el diseño del cuerpo volveremos a dibujar las circunferencias exteriores de los apoyos. Con el cursor nos movemos hasta el centro de coordenadas y hacemos clic para generar una circunferencia cualquiera, la fijamos con otro clic. Nos movemos hasta el apoyo superior y hacemos clic en un punto dibujamos la otra circunferencia. Damos a Escape para terminar la orden.




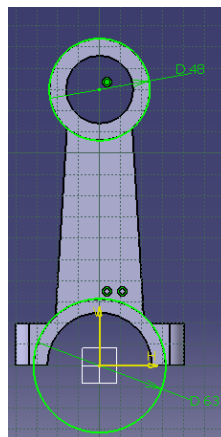
En la paleta **Constraint** seleccionamos con doble clic **Constraint** . Acotamos con un clic la circunferencia inferior y con otro la superior. Damos doble clic en la cota inferior y ponemos 63mm y en la superior ponemos 48mm en la opción **Diameter**.




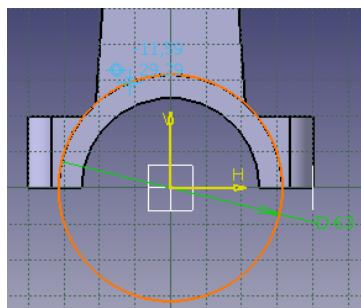
Para situar la circunferencia superior hacemos clic sobre ella y seguidamente con la tecla Control pulsada hacemos clic sobre el borde del apoyo superior.



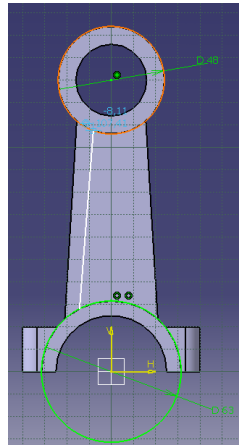
Seleccionamos a continuación en la paleta **Constraint** la herramienta **Constraints Defined in Dialog Box**  y añadimos la opción **Concentricity** para situar la circunferencia. Le damos a **Ok**.



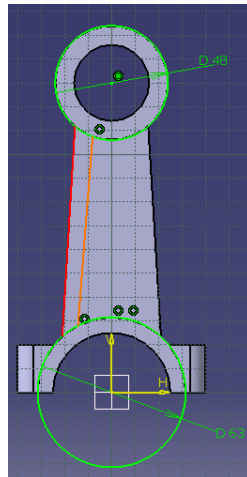
En la paleta **Profile** seleccionamos la orden **Line** , con la cual hacemos clic en un punto de la parte superior en la circunferencia inferior.




Dicha línea la llevamos hasta la parte inferior de la circunferencia superior donde hacemos clic.



Hacemos clic sobre la línea y con la tecla Control pulsada hacemos clic sobre el borde izquierdo del cuerpo de la biela.

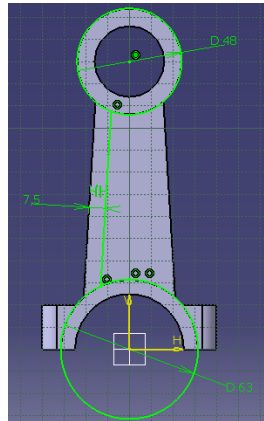



Seleccionamos en la paleta **Constraint** la herramienta **Constraints Defined in Dialog**

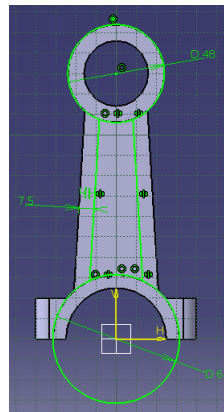
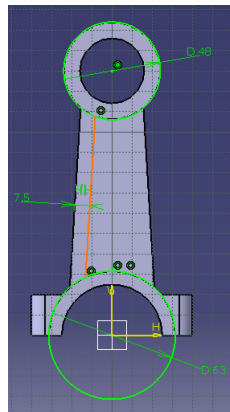
Box  y añadimos la opción **Parallelism**. La línea automáticamente será paralela al borde el cuerpo de la biela. Daremos a **Ok**.




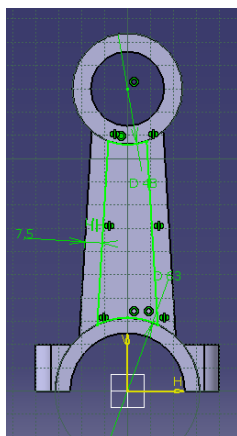
Seguidamente en la misma paleta seleccionamos la orden **Constraint**, hacemos clic sobre la línea y después sobre el borde del cuerpo de la biela, hacemos clic para fijar la cota. Con doble clic sobre la cota cambiamos el valor de esta en la opción **Value** ventana **Constraint Definition**. Ponemos 7,5mm y damos a **Ok**.



A continuación haremos la línea simétrica con la orden **Mirror**  que se encuentra en la paleta **Operation** ya vista. Seleccionamos la línea a copiar y después el eje de simetría que será el eje de referencia Vertical, automáticamente aparecerá otra línea que cerrará el perfil.



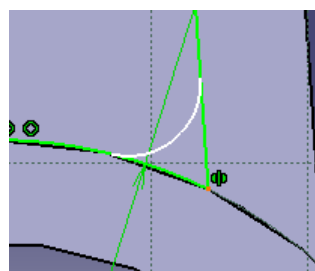
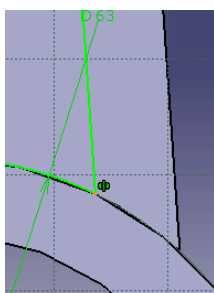
Ahora para acabar el perfil solo queda borrar los trozos de circunferencia sobrantes mediante la opción **Trim** . Hacemos doble clic sobre ella y después seleccionamos la circunferencia inferior del apoyo inferior y la circunferencia superior del apoyo superior.



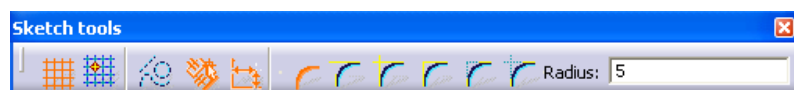
Seguidamente redondearemos las esquinas del perfil con la orden **Corner** situada en la paleta **Operation**.



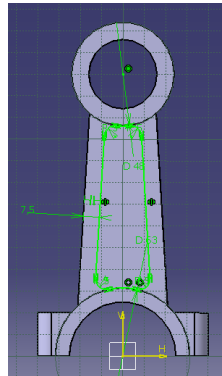
La seleccionamos con doble clic y con el cursor hacemos clic en el punto de unión de dos líneas. Después movemos el cursor para representar el redondeo y ver que es la opción que queremos.




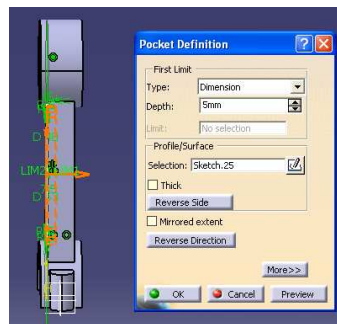
En la paleta **Sketch Tools** podemos poner, antes de fijar el redondeo, el radio que queremos que tenga. En este caso pondremos 5mm de radio. Haremos clic después de poner el valor o directamente **Intro**.



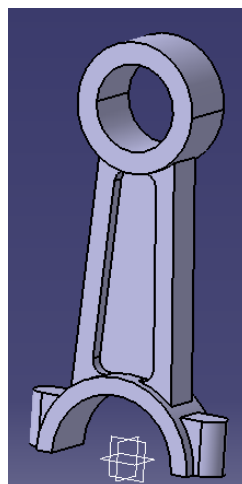
Repetiremos estos pasos de redondeo en las cuatro esquinas del perfil con un radio de 5mm, deberá quedar de la siguiente forma.



Una vez finalizado el diseño del vaciado en el **Sketch** saldremos de este haciendo clic en **Exit Workbench** , nos aparecerá la ventana **Pocket Definition**, la profundidad del vaciado la pondremos en la opción **Depth** y será 5mm. Además nos fijaremos que en la pieza la flecha de dirección del vaciado sea hacia dentro de la pieza. Si la flecha saldría hacia fuera en la ventana deberíamos darle a la opción **Reverse Direction** para cambiarla.




Una vez puestos los parámetros daremos a **Ok**.

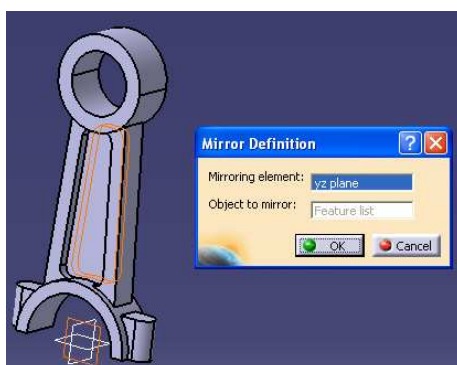


Para acabar la pieza solo queda vaciar el otro lado del cuerpo de la biela y hacer redondeos donde sea necesario.

Primero haremos simetría del vaciado, para ello seleccionamos las operaciones de vaciado en el árbol que tendrán el nombre de **Pocket.1**.

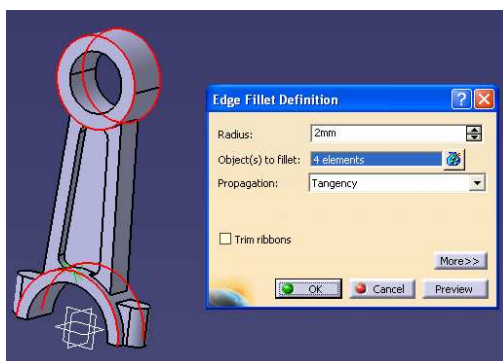



Después en la paleta **Transformation Features** volveremos a utilizar la herramienta **Mirror** , la seleccionamos y en la ventana **Mirror Definition** encontramos la orden **Mirroring Element** para seleccionar el plano sobre el que hacer simetría, en este caso será en plano **yz** sobre el cual haremos clic. Para acabar daremos a **Ok**.

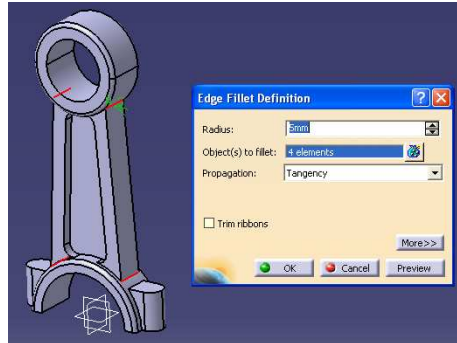


El siguiente paso es redondear algunos vértices, para ello seleccionamos en la paleta **Dress-Up Features** la orden **Edge Fillet** .

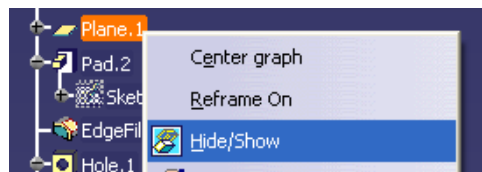
En la ventana llamada **Edge Fillet Definition** pondremos el radio en la opción **Radius**. Primero redondearemos los vértices exteriores de los apoyos con un radio de 2mm. En la opción **Objects to Fillet**, seleccionaremos los vértices exteriores haciendo clic. Después daremos a **Ok**.



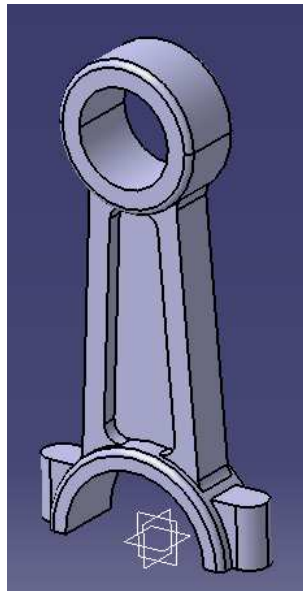
Volveremos a seleccionar la herramienta **Edge Fillet**  y en este caso redondearemos los vértices laterales de unión del cuerpo con los apoyos, con un radio de 5mm. Hacemos clic en **Ok**.



Para ocultar el plano de apoyo creado anteriormente lo buscamos en el árbol **Plane.1** y con el botón secundario del ratón desplegamos un menú en el que seleccionamos la opción **Hide/Show**, para ocultarlo.



La pieza superior de la biela está acabada y quedará de la siguiente forma.




3- Contrabiela

3.1 Cuerpo de la contrabiela

Vamos a diseñar la contrabiela de la biela que consta de una pieza similar al apoyo inferior de la biela. La contrabiela sirve para amarra la biela con el cigüeñal. Nos situamos en la pantalla inicial de encendido de CATIA y en el menú superior se da un clic en **Start**, a continuación nos situamos en **Mechanical Design** y se abrirá una nueva ventana en la que elegiremos mediante un clic **Part Design**.


Nos aparecerá una ventana llamada **New Part** en el que se dará un nombre a la pieza a realizar, como anteriormente el nombre que sale por defecto es Part1, pero como ese nombre es el del cigüeñal en este caso pondremos Part3 y daremos a **Ok**.




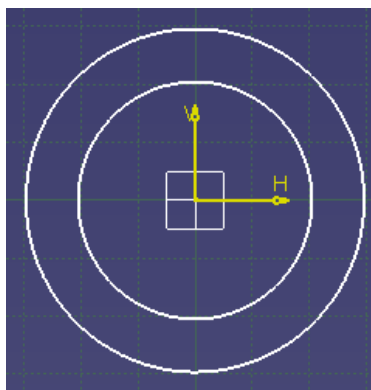
Una vez situados en la pantalla principal de diseño, empezaremos a diseñar la contrabiela apoyándonos en los planos y las paletas anteriormente usadas. Aunque lo primero que haremos será guardar la pieza en nuestro archivo. Para ello en la paleta **Standard** hacemos clic en , nos saldrá la ventana **Save As** en la que pondremos el nombre Contrabiela y daremos a Guardar una vez buscado el directorio que queramos.


Como anteriormente intentaremos que en la pieza diseñada queden los planos centrados respecto a esta. En la paleta **Sketch-Based Features** hacemos clic en la orden **Pad**.

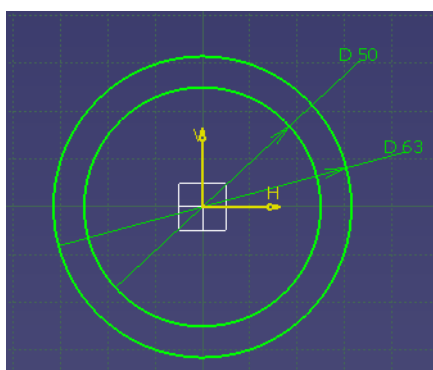



Nos saldrá la ventana ya vista **Pad Definition** en la que daremos a la herramienta **Profile/Surface**  para dibujar el perfil del apoyo inferior. Una vez seleccionada deberemos elegir un plano sobre el que dibujar, en este caso haremos clic en el plano **yz**.

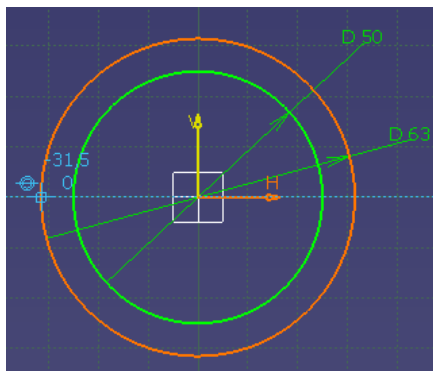
Una vez en la pantalla del **Sketch** dibujaremos el apoyo inferior utilizando, en la paleta **Profile**, la herramienta **Circle** . La seleccionamos y hacemos clic en el centro de los ejes para crear una circunferencia que tendrá un radio cualquiera y volveremos a hacer clic para mantenerla. Volveremos a ejecutar la orden **Circle** y haremos otra circunferencia con el mismo centro que la anterior pero será de diámetro mayor.



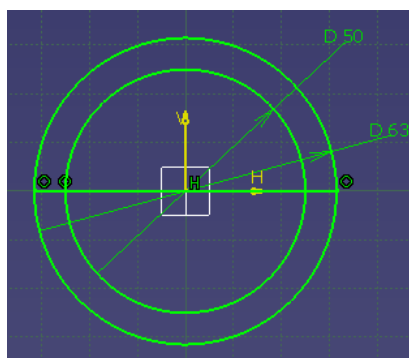
Ahora acotaremos las circunferencias, en la paleta **Constraint** haremos clic en la orden **Constraint**  y seleccionaremos con el cursor la circunferencia más pequeña, nos saldrá su cota la cual fijaremos con otro clic. Volvemos a seleccionar **Constraint** para acotar la otra circunferencia. Les daremos un valor los diámetros haciendo doble clic sobre la cota, aparecerá la ventana **Constraint Definition** y en **Diameter** pondremos en la circunferencia pequeña 50mm y en la grande 63mm. Daremos a **Ok**.




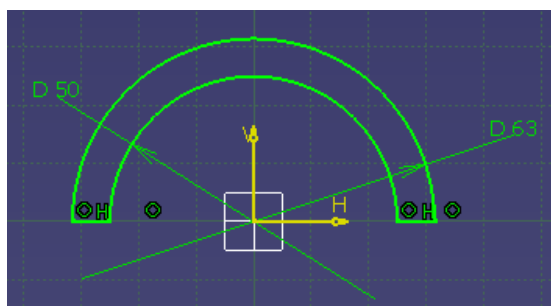
Seguidamente eliminaremos media circunferencia. Para ello en la paleta **Profile** seleccionamos la orden **Line** . Moveremos el cursor hasta el punto de la circunferencia exterior que corta con la prolongación del eje Horizontal.




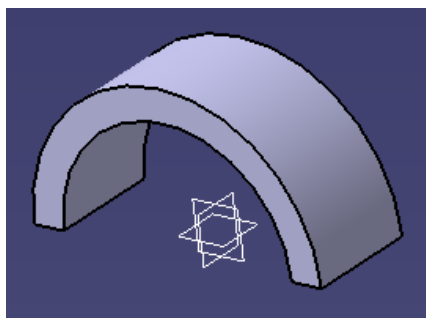
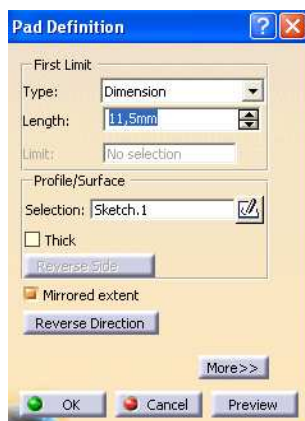
Haremos clic y ese punto será el inicio de la línea que divide las circunferencias. Desplazaremos la línea y daremos clic para finalizarla en el punto opuesto de la circunferencia exterior.



Una vez finalizado borraremos las líneas sobrantes. En la paleta **Operation** desplegaremos el menú de la orden **Trim** dando clic en la flecha negra. Seleccionaremos con doble clic la herramienta de borrar **Quick Trim** . Con el cursor haremos clic en las medias circunferencias inferiores y en la línea central. Nos quedará de la siguiente forma.



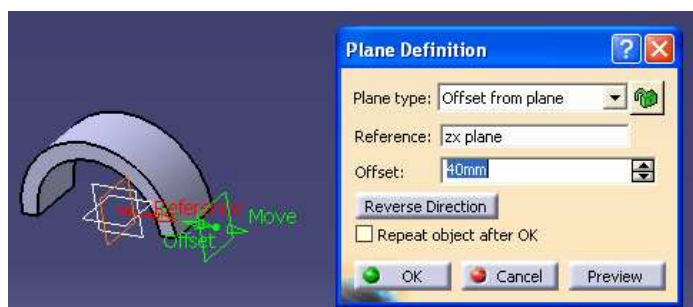
Acabado el **Sketch** saldremos de este haciendo clic en **Exit Workbench**  para acabar el **Pad**. En la ventana **Pad Definition** seleccionaremos la opción **Mirrored extent** para que la extrusión deje centrados los ejes. Para acabar en la orden **Length** pondremos una anchura de 11,5mm. Haremos clic en **Ok**.





Para acabar el apoyo inferior solo queda realizar el diseño de la parte de la pieza que servirá para unirla a la contrabiela mediante tornillos. Para ello en la pantalla inicial localizaremos la paleta **Reference Elements** (si no aparece se puede buscar haciendo clic con el botón secundario del ratón en la zona gris de las barras de operaciones), seleccionaremos la orden **Plane**.



Aparecerá una ventana llamada **Plane Definition** en la que podremos elegir las características del plano que queremos crear. En la opción **Plane Type** dejamos por defecto la orden que sale **Offset from plane**, creará un plano a una distancia de un plano de referencia elegido. En **Reference** elegimos haciendo clic el plano **zx** y en **Offset** pondremos 40mm. Daremos a **Ok**.

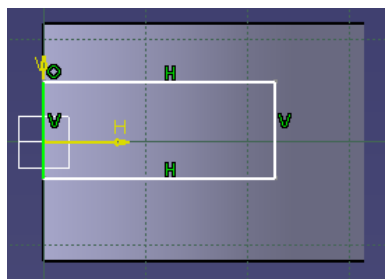



A continuación en la paleta **Sketch-Based Features** haremos clic en **Pad** . Se abrirá la ventana **Pad Definition** y seleccionaremos la pestaña **Profile/Surface**  para dibujar el **Sketch**, además nos pedirá seleccionar el plano sobre el que dibujar, haremos clic sobre el plano creado a 40mm del de referencia.

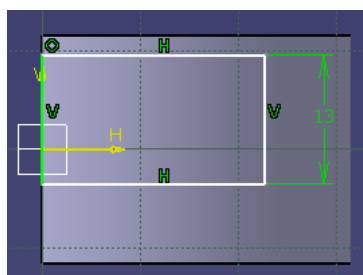
Hacemos zoom sobre la zona de dibujo que nos ocupa, y seleccionamos en la paleta **Profile** la herramienta **Rectangle**.



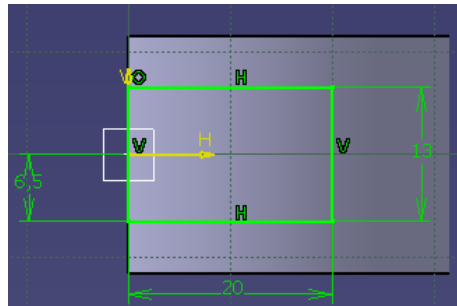
Llevaremos el cursor hacia el eje de referencia Vertical y haremos clic en un punto de este, seguidamente al mover el cursor aparecerá un rectángulo que podremos poner a nuestro gusto. Moveremos el cursor hacia la derecha y haremos clic con una medida cualquiera.




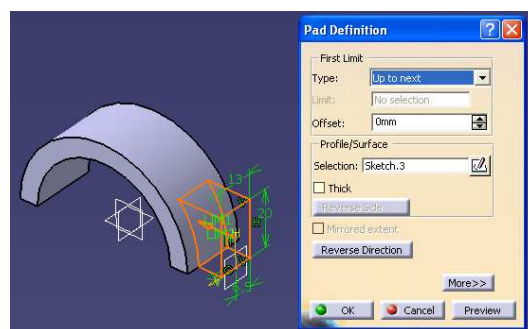
Acotaremos el rectángulo con la herramienta ya vista **Constraint** . La seleccionamos y haremos clic primero en el lado superior y después en el lado inferior del rectángulo, después clic para fijarla. Cambiaremos el valor de esta cota y pondremos 13mm de ancho en la orden **Value** de la ventana **Constraint Definition**. Daremos a **Ok**.



Después acotaremos la altura del rectángulo con la misma herramienta, haciendo clic en el lado izquierdo y después en el lado derecho del rectángulo. Haremos doble clic sobre la cota y pondremos un valor de 20mm. Para acabar centraremos el rectángulo con respecto al eje Horizontal. Acotaremos dando clic en el eje Horizontal y después en uno de los lados horizontales del rectángulo. Fijaremos la cota y con doble clic cambiaremos el valor por 6,5mm. Daremos a **Ok**.



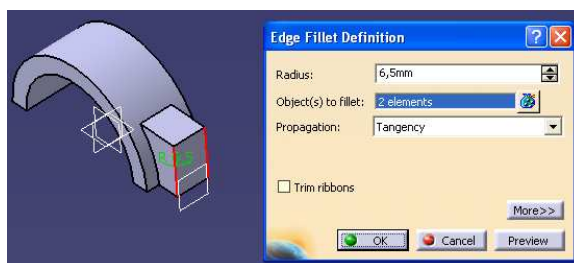
Saldremos del **Sketch** mediante **Exit Workbench** . Nos aparecerá la ventana de **Pad Definition** y en el dibujo saldrá una simulación de cómo se realiza la extrusión. Si dicha extrusión aparece hacia el exterior deberemos hacer clic en la ventana sobre la herramienta **Reverse Direction**. En esta ocasión no pondremos ninguna anchura de extrusión, sino que esta llegará hasta la cara exterior de la contrabiela que será curva. Para ello en la ventana veremos la orden **Type** la cual desplegaremos, haciendo clic en la flecha, y elegiremos la opción **Up to Next**, hará la extrusión hasta la cara siguiente. Daremos a **Ok**.



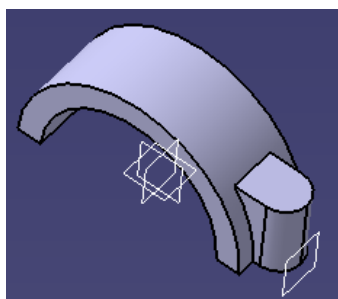
La siguiente operación será hacer un redondeo en los dos vértices exteriores, para ello utilizaremos en la paleta ya vista **Dress-Up Features** la orden **Edge Fillet**, la seleccionamos.



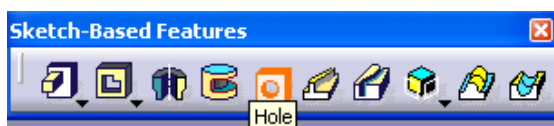
Aparecerá una ventana llamada **Edge Fillet Definition** en la que podremos poner el radio que queramos en la opción **Radius** en este caso pondremos 6,5mm. En la siguiente opción, **Objects to Fillet**, seleccionaremos los dos vértices exteriores haciendo clic.



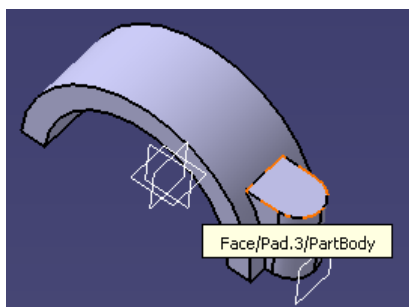
Acabaremos la operación dando a **Ok**.



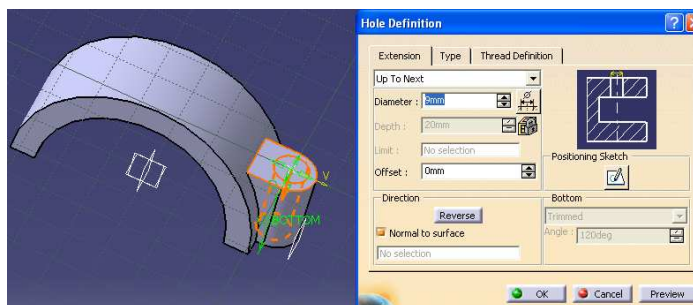
Ahora haremos el agujero donde roscará el tornillo, en la paleta **Sketch-Based Features** seleccionamos la orden **Hole**.





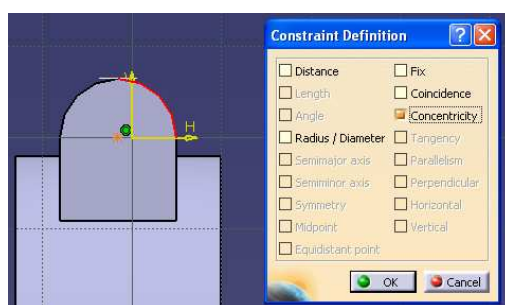
Al seleccionar la herramienta deberemos también elegir una cara sobre la que hacer el agujero, en este caso será la cara superior de la extrusión.



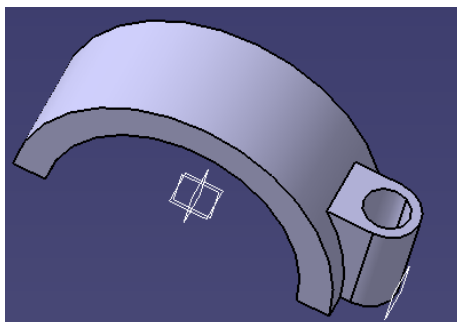
Saldrá una ventana llamada **Hole Definition** en la cual aparecen varias pestañas en las que podremos definir todas las características del agujero. La primera pestaña **Extension** elegiremos que nuestro agujero sea pasante hacemos clic en la flecha negra y le damos a la opción **Up to Next**. En la siguiente opción pondremos un diámetro de 9mm.



Las demás pestañas no las necesitaremos para este tipo de agujero. Por último habrá que situar el agujero concéntrico al redondeo de la pieza. Para ello haremos clic en **Positioning Sketch** . Una vez en la pantalla del **Sketch** podemos hacer zoom sobre el dibujo para situar mejor el punto. Hacemos clic en el punto pulsamos la tecla Control y después sobre la curva del redondeo, después en la paleta **Constraint** elegimos la orden **Constraints Defined in Dialog Box**  para poner una restricción de concetricidad del agujero. Añadimos en la ventana **Concentricity**. Hacemos clic en **Ok**.




Salimos del **Sketch** mediante **Exit Workbench**  y damos a **Ok**. En la ventana de **Hole Definition**.



Para acabar la contrabiela tendremos que copiar las operaciones mediante simetría. Primero, y debido a que hay más de una operación por copiar, elegimos en el árbol de operaciones las que queramos copiar por simetría dando clic con la tecla Control pulsada. **Pad.2**, **EdgeFillet.1** y **Hole.1**.

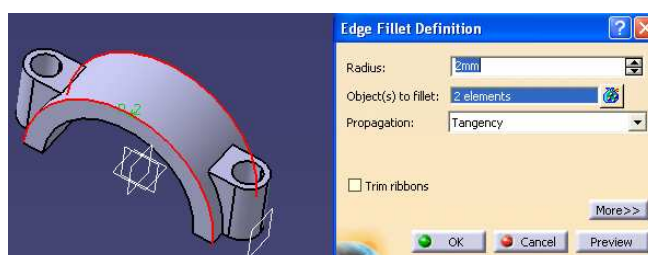


Como ya se ha visto en la paleta **Transformation Features** encontramos la herramienta **Mirror** , la seleccionamos y en la ventana **Mirror Definition** encontramos la orden **Mirroring Element** para seleccionar el plano sobre el que hacer simetría, en nuestro caso será en plano **zx** sobre el cual haremos clic. Acabaremos la operación dando a **Ok**.




El siguiente paso es redondear algunos vértices, para ello seleccionamos en la paleta **Dress-Up Features** la orden **Edge Fillet** .

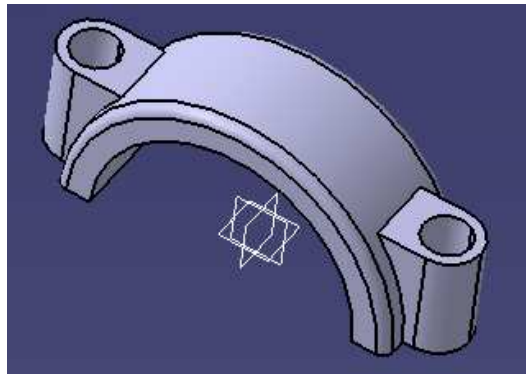
En la ventana llamada **Edge Fillet Definition** pondremos el radio en la opción **Radius**. Redondearemos los vértices exteriores de la contrabiela con un radio de 2mm. En la opción **Objects to Fillet**, seleccionaremos los vértices exteriores haciendo clic. Después daremos a **Ok**.



Para ocultar el plano de apoyo creado anteriormente lo buscamos en el árbol **Plane.1** y con el botón secundario del ratón desplegamos un menú en el que seleccionamos la opción **Hide/Show**, para ocultarlo.



Para acabar pulsaremos **Ok** y habremos acabado la contrabiela. Seguidamente guardaremos .



4- Pistón


El pistón es la pieza sobre la que se ejerce la fuerza de la explosión en el motor, para diseñarla dibujaremos su perfil exterior e interior y después haremos una extrusión por revolución.

4.1 Pistón

Para diseñar el pistón estaremos en la pantalla inicial de encendido de CATIA y en el menú superior se da un clic en **Start**, seguidamente nos situamos en **Mechanical Design** y se desplegará una nueva ventana en la que haremos clic en la opción **Part Design**.


Aparecerá una ventana llamada **New Part** en el que se dará un nombre a la pieza a realizar, como anteriormente el nombre que sale por defecto es Part1, pero como ese nombre que se ha dado al cigüeñal en este caso pondremos Part4 y daremos a **Ok**.



Situados en la pantalla principal de diseño, empezaremos a diseñar el pistón apoyándonos en los planos y las paletas anteriormente usadas. Aunque primeramente deberemos guardar la pieza en nuestro archivo. Para ello en la paleta **Standard** hacemos clic en , nos saldrá la ventana **Save As** en la que pondremos el nombre Pistón y daremos a Guardar una vez buscado el directorio que queramos.

Como anteriormente intentaremos que en la pieza diseñada queden los planos centrados respecto a esta. En la paleta **Sketch-Based Features** hacemos clic en la orden **Shaft**.



Nos aparecerá una ventana llamada **Shaft Definition** en la que daremos a la herramienta **Profile/Surface**  para dibujar el perfil exterior e interior del pistón, para realizar después una extrusión circular.. Una vez seleccionada deberemos elegir un plano sobre el que dibujar, en este caso haremos clic en el plano **yz**.

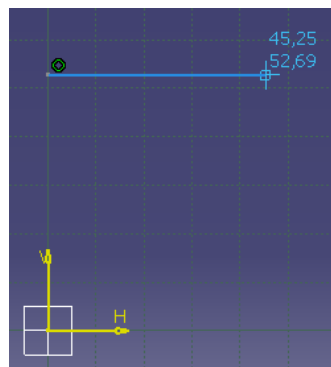
Una vez en la pantalla del **Sketch** nos dispondremos a dibujar el perfil del pistón, para ello en la paleta **Profile** haremos clic en la herramienta **Profile**.



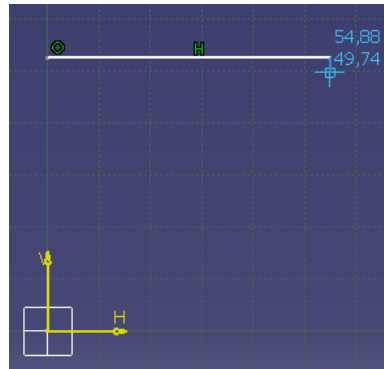
Moveremos el cursor hasta la prolongación del eje de referencia Vertical, donde haremos clic a una altura cualquiera para situar el inicio de la línea.



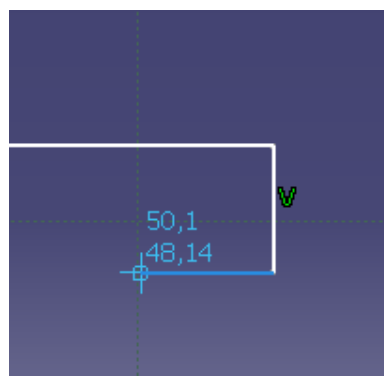
Seguidamente extenderemos la línea horizontalmente hacia la derecha y haremos clic con una medida cualquiera, esta línea será el radio externo del pistón.



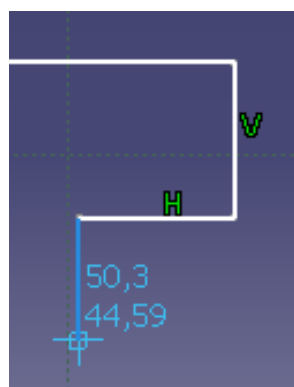
Continuaremos el perfil verticalmente hacia abajo extendiendo la línea en un tramo corto donde volveremos a hacer clic.



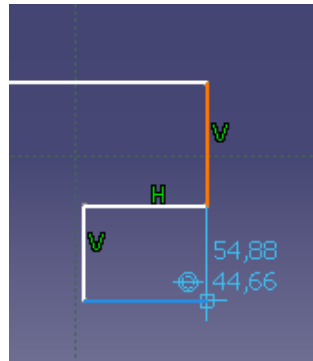
Debido a que en esta arte el perfil es bastante pequeño haremos Zoom a la zona afectada. Después continuamos la línea horizontalmente hacia la izquierda con un tramo también pequeño. Volveremos a hacer clic.



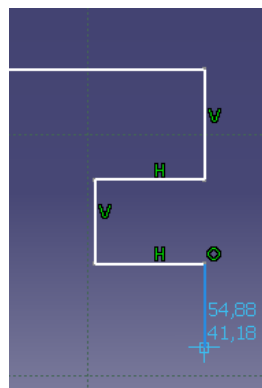
Ahora continuamos la línea del perfil verticalmente hacia abajo, empezaremos a constituir el primer hueco de un segmento del pistón. Hacemos clic para fijar la línea.



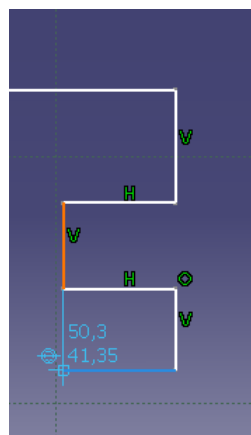
Después desplazamos la línea hacia la derecha horizontalmente para acabar el primer hueco del segmento del pistón. Extenderemos la línea hasta que coincida con la prolongación de la línea externa del pistón donde haremos clic.



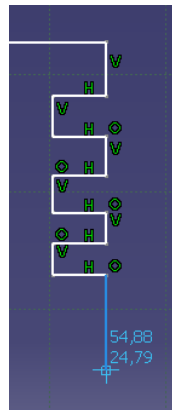
Bajaremos el cursor verticalmente y haremos clic para fijar la línea.



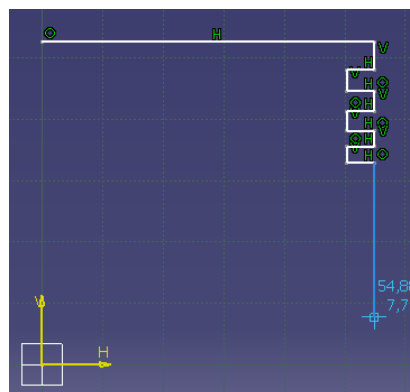
A continuación desplazaremos la línea horizontalmente a la izquierda hasta que coincida con la prolongación de la pared interior de lo que será el hueco del segmento.



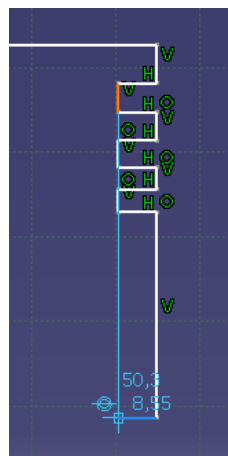
Para acabar el segmento que estamos realizando y el siguiente hueco de segmento deberemos repetir las operaciones anteriores hasta que tengamos tres huecos de segmento, los cuales tendrán unas medidas aun sin determinar. Quedará de la siguiente forma.



Después de terminados los segmentos extenderemos la línea del perfil verticalmente hacia abajo hasta el comienzo de la ranura inferior, en este punto haremos clic.



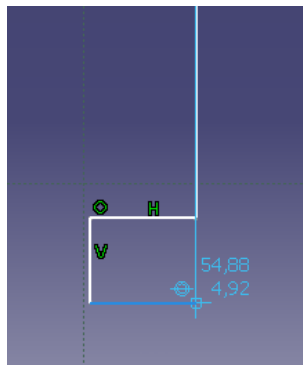
Seguidamente desplazaremos la línea hacia la izquierda hasta que coindica con la prolongación de la profundidad de los huecos de los segmentos. En ese punto haremos clic.



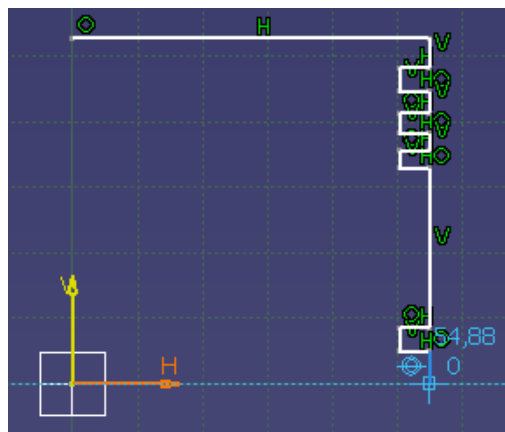
Continuamos la línea hacia abajo dándole anchura a dicha ranura inferior, será también un tramo corto, haremos clic.



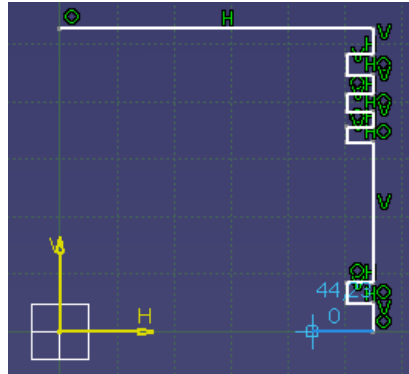
Acabaremos la ranura prolongando la línea hacia la derecha hasta que coincida con la prolongación de la línea exterior del pistón, donde haremos clic.



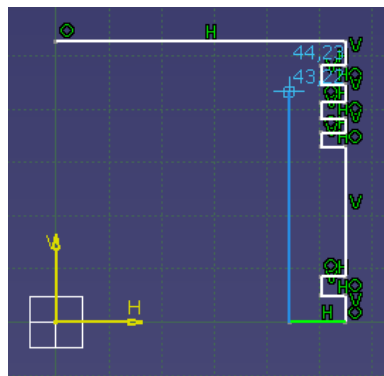
Para terminar la parte exterior del perfil extenderemos la línea verticalmente hacia abajo hasta cortar con la prolongación del eje de referencia Horizontal. Lugar en el que haremos clic.



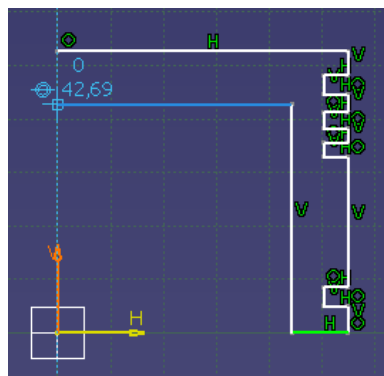
Ahora realizaremos la parte interior del pistón moviendo la línea anterior hacia la izquierda, la cual dará el espesor del pistón. Haremos clic.



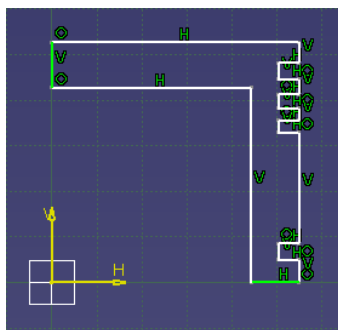
Prolongaremos la línea verticalmente hacia arriba para definir el que será el hueco interior del pistón. Haremos clic en un punto cualquiera pero sin que coincida con la prolongación de ninguna línea.




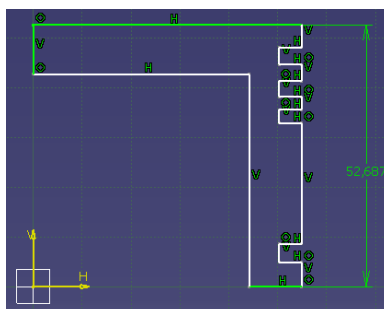
Moveremos el cursor hacia la izquierda hasta que la línea coincida con la prolongación del eje Vertical de referencia. Haremos clic en ese punto.



Para acabar el perfil desplazaremos el cursor hasta el punto de inicio del perfil del pistón, para terminar la orden **Profile** bastará con pulsar la tecla **Escape**. Ahora tendremos definido el perfil aunque deberemos ponerle dimensiones, esto será el paso siguiente.

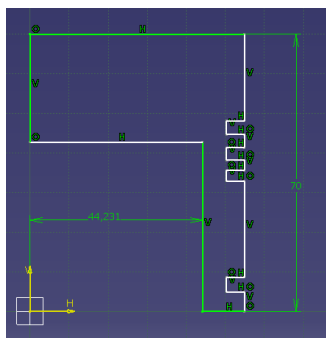


Para determinar las dimensiones del perfil en la paleta **Constraint** haremos doble clic en la orden **Constraint** . Primero definiremos la altura del pistón, para ello haremos clic en la línea superior de este y después en la línea inferior. Nos saldrá una cota con un valor cualquiera que fijaremos con un clic.



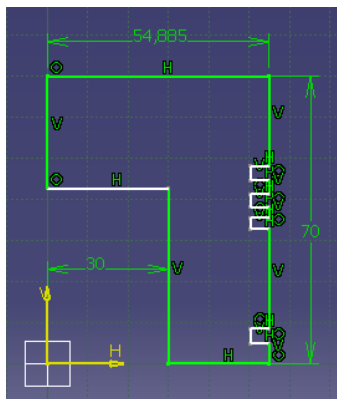
Daremos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** cambiaremos en la opción **Value** y pondremos 70mm que será la altura del pistón. Daremos a **Ok**.

Seguidamente acotaremos el radio interior del hueco del pistón. Daremos clic en la línea interior del perfil y después en el eje Vertical de referencia. Fijaremos la cota con otro clic.



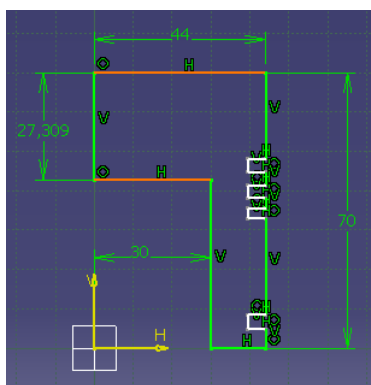
Daremos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** cambiaremos en la opción **Value** y pondremos 30mm que será el radio interior del hueco del pistón. Daremos a **Ok**.

A continuación definiremos el radio exterior del pistón, hacemos clic en la línea superior y fijamos la cota mediante un clic.



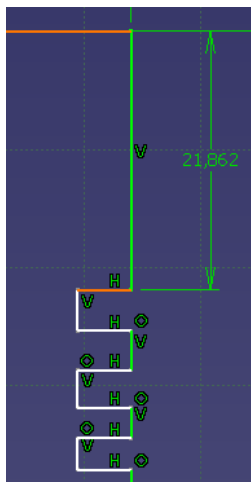
Daremos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** cambiaremos el valor de la cota en la opción **Value** y pondremos 44mm que será el radio exterior del pistón. Daremos a **Ok**.

Ahora acotaremos el espesor de la parte superior del pistón, para ello haremos clic en la línea superior de este y después en la línea interior del hueco del pistón. Daremos clic para fijar dicha cota.



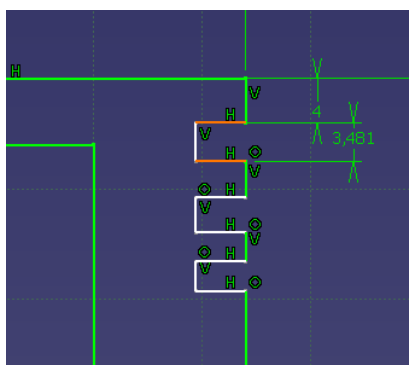
Daremos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** cambiaremos el valor de la cota en la opción **Value**, pondremos 6mm que será el espesor de la parte superior del pistón. Daremos a **Ok**.

Después acotaremos los segmentos y la ranura. Para ello haremos Zoom a esta parte. Haremos clic en la línea superior del pistón y seguidamente en la línea superior del primer segmento, después fijaremos la cota haciendo clic.



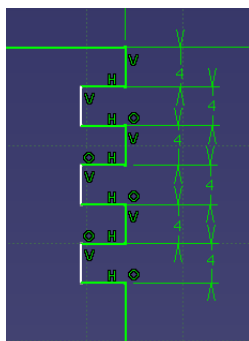
Daremos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** cambiaremos el valor de la cota en la opción **Value**, pondremos 4mm que será el espesor de la parte superior del pistón con respecto al primer segmento. Daremos a **Ok**.

Seguidamente acotaremos el espesor del primer segmento, dando clic a la línea superior de este y después a la línea inferior.

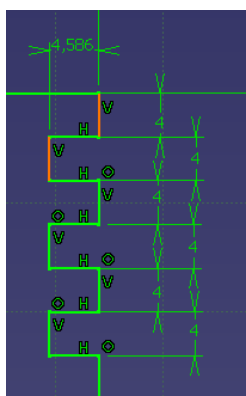


Hacemos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** cambiaremos el valor de la cota en la opción **Value**, pondremos 4mm que será el espesor del primer segmento. Daremos a **Ok**.

Repetiremos la operación para todos los espesores entre segmentos y anchura de ellos ya que tienen la misma dimensión de 4mm, quedará de la siguiente forma.

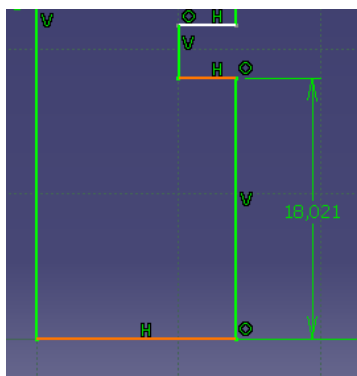


Acotaremos la profundidad de los segmentos haciendo clic en la línea exterior del pistón y después en la línea interior de un segmento, esta cota valdrá para los tres segmentos y para la ranura ya que al dibujarlos se han hecho las tres líneas coincidentes.



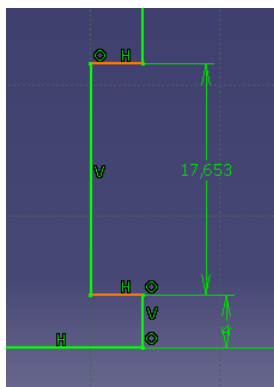
Daremos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** cambiaremos el valor de la cota en la opción **Value**, pondremos 4,5mm que será la profundidad de los segmentos. Daremos a **Ok**.

Definiremos la altura a la que esta situada la ranura haciendo clic en la línea inferior del perfil del pistón y después en la línea inferior de la ranura, haremos clic para fijar dicha cota.



Daremos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** cambiaremos el valor de la cota en la opción **Value**, pondremos 4mm que será la altura a la que se situará la ranura. Daremos a **Ok**.

Acabaremos de acotar el perfil dimensionando la anchura de la ranura, para ello hacemos clic en la línea inferior de esta y después en la línea superior. Fijamos la cota haciendo clic.

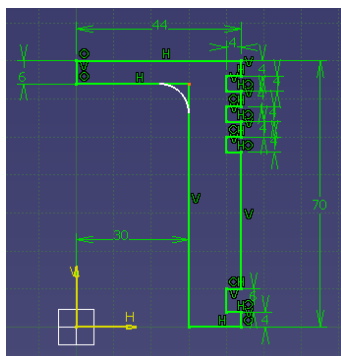


Daremos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** cambiaremos el valor de la cota en la opción **Value**, pondremos 6mm que será la anchura que tendrá la ranura. Daremos a **Ok**.

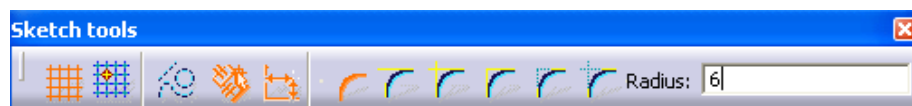
Para terminar el perfil haremos un redondeo a la parte interior del hueco del pistón, para ello en la paleta **Operation** seleccionamos con un clic la herramienta **Corner**.



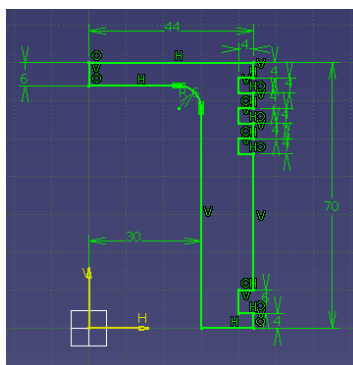
Con el cursor hacemos clic en el punto de unión de las líneas vertical y horizontal del hueco del pistón y después movemos el cursor hacia el interior para representar el redondeo y ver que es la opción que queremos.




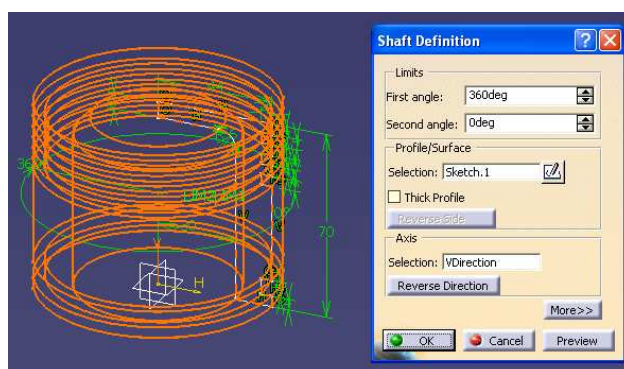
En la paleta **Sketch Tools** podemos poner, antes de fijar el redondeo, el radio que queremos que tenga. En este caso pondremos 6mm de radio. Haremos clic después de poner el valor o directamente Intro.



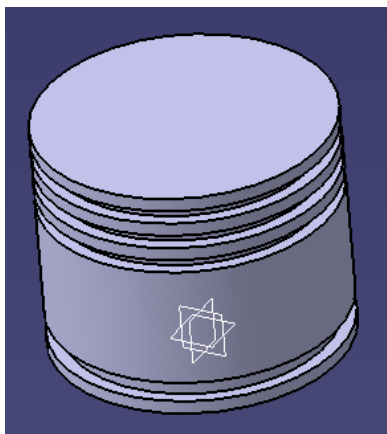
Una vez acabado el perfil nos debería quedar de la siguiente forma.



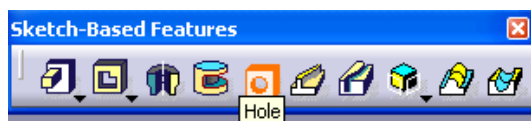
Una vez acabado el **Sketch** saldremos de este haciendo clic en **Exit Workbench**  para acabar la extrusión. En la ventana **Shaft Definition** encontraremos un apartado llamado **Limits** en el cual habrá una opción llamada **First Angle**, en la cual ponemos 360deg que serán los grados de extrusión del perfil. En otro apartado llamado **Axis** seleccionaremos el eje sobre el que va a girar el perfil creado, en este caso será el eje de referencia Vertical.



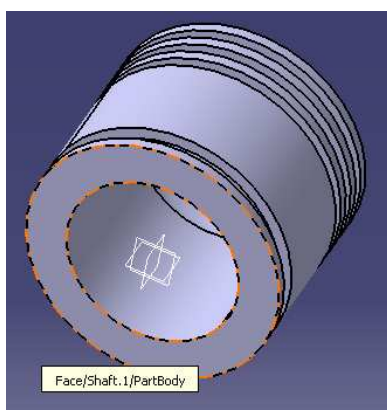
Para acabar daremos clic en **Ok**. Tendremos acabado la primera parte de nuestro pistón, quedará de la siguiente forma.



A continuación realizaremos un rebajo en la base del pistón. Para ello en la paleta **Sketch-Based Features** seleccionamos la orden **Hole**.



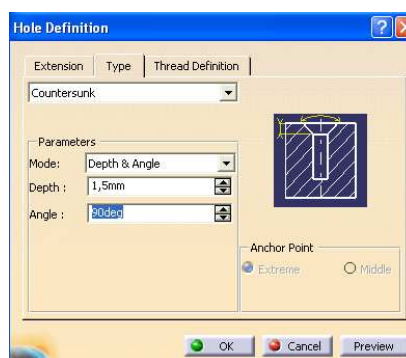
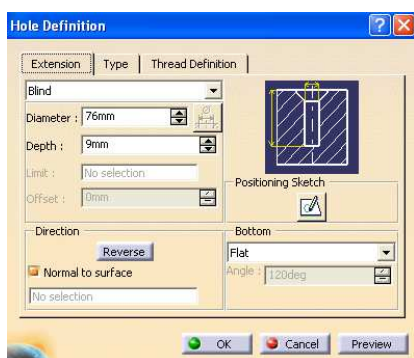
Diseñaremos el agujero sobre la cara inferior del pistón y por tanto hacemos clic sobre ella. Una vez seleccionada nos aparecerá la ventana **Hole Definition**.




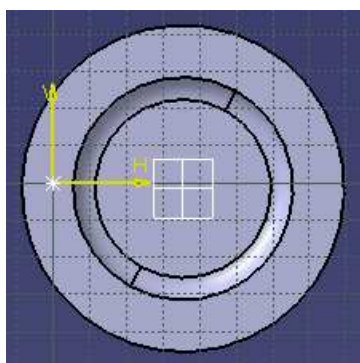
En dicha ventana habrá varias pestañas en la parte superior. En la pestaña **Extension** podremos elegir el tipo de agujero en la opción desplegable con una flecha negra. Elegiremos **Blind**. En la siguiente opción **Diameter** pondremos 76mm y en la opción **Depth** pondremos 9mm.

En la siguiente pestaña llamada **Type** desplegaremos el menú haciendo clic en la flecha negra y seleccionaremos la opción **Countersunk**, aparecerá un apartado llamado **Parameters** con tres opciones.

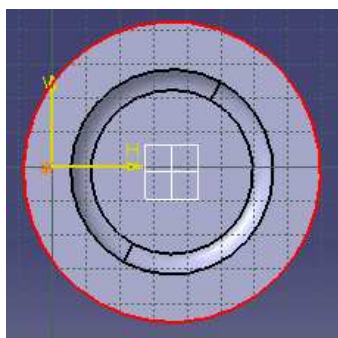
La primera **Mode** la dejaremos por defecto en **Depth & Angle**. La segunda opción llamada **Depth** la rellenaremos poniendo 1,5mm. Y en la tercera llamada **Angle** pondremos 90deg.





Ahora situaremos el agujero accediendo al **Sketch**, seleccionamos la opción **Positioning Sketch**  de tal forma que nos situaremos en la pantalla del **Sketch**.

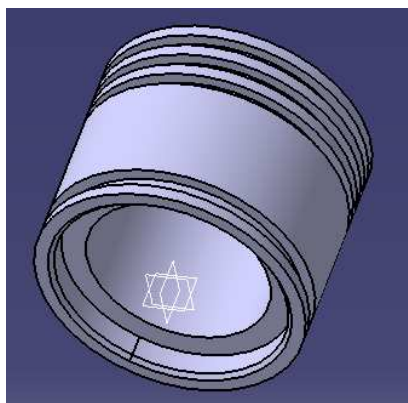



Deberemos situar el punto que representa el centro del agujero coincidente con el centro de la pieza. Para ello hacemos clic sobre dicho punto y seguidamente, con la tecla Control pulsada, hacemos clic en la circunferencia exterior de la pieza.

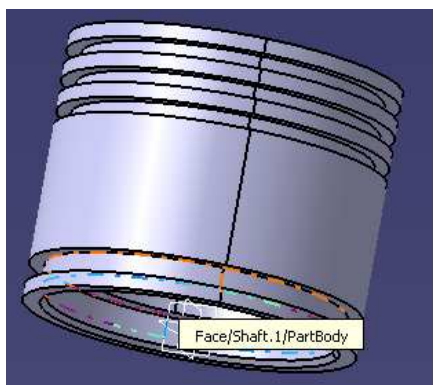


Después en la paleta **Constraint** seleccionamos la herramienta **Constraints Defined in Dialog Box**  y añadimos la opción **Concentricity** para situar la circunferencia. Le damos a **Ok**.

A continuación salimos del **Sketch** haciendo clic en **Exit Workbench**  y una vez situados en la pantalla de la pieza damos a **Ok** en la ventana de **Hole Definition**. El pistón quedará de la siguiente forma.

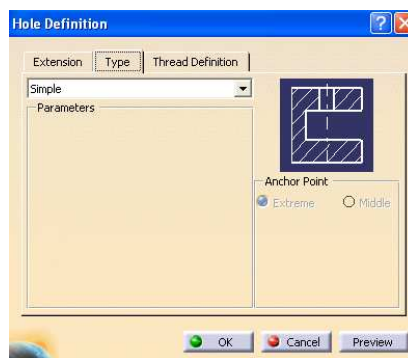
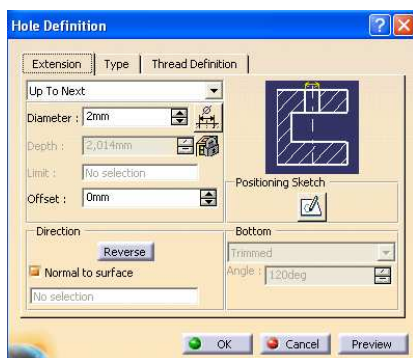



Para realizar los agujeros inferiores utilizaremos en la paleta **Sketch-Based Features** seleccionamos la orden **Hole** . Una vez seleccionada deberemos elegir la cara sobre la cual realizar el agujero. En este caso será la cara interior de la ranura inferior.

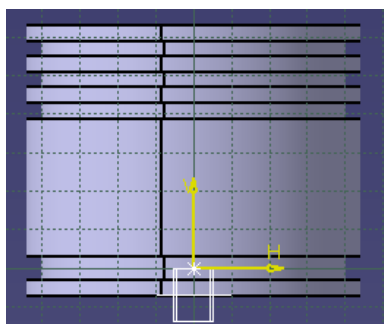



En la ventana **Hole Definition** para describir como será el agujero. En la pestaña **Extension** elegimos el tipo de agujero en la opción desplegable con una flecha negra. Elegiremos **Up to Next**.

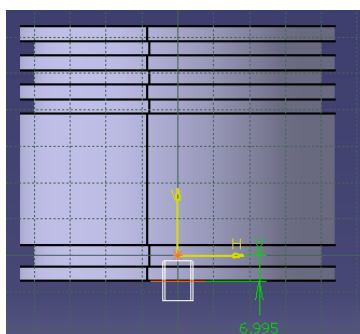
En la siguiente opción **Diameter** pondremos 2mm. En la siguiente pestaña llamada **Type** desplegaremos el menú haciendo clic en la flecha negra y seleccionaremos la opción **Simple**.




Volvemos a la pestaña **Extension** en la cual seleccionamos la opción **Positioning Sketch**  para posicionar el agujero en la cara seleccionada. Nos parecerá el punto situado en un lugar cualquiera.

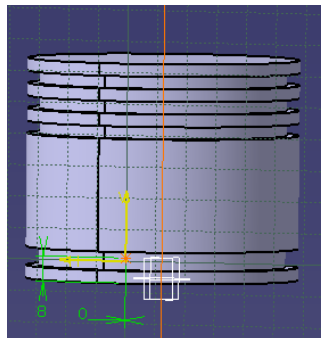


En la paleta **Constraint** seleccionamos la herramienta **Constraint**  para situar el punto en la pieza. Hacemos clic en el plano coincidente con la base del pistón y después hacemos clic en el punto fijamos la cota mediante un clic.




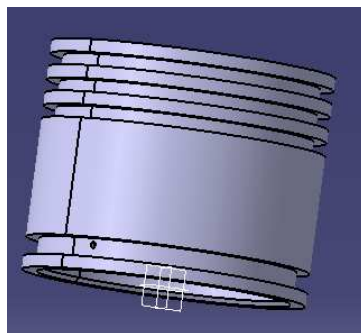
Hacemos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** cambiaremos el valor de la cota en la opción **Value**, pondremos 8mm que será la altura a la que se situará el agujero. Daremos a **Ok**.

Seleccionamos **Constraint**  de nuevo y hacemos clic sobre el punto, seguidamente nos situamos sobre una cara circular de la pieza, hasta que aparezca el eje central, haremos clic sobre dicha cara y se selecciona el eje.

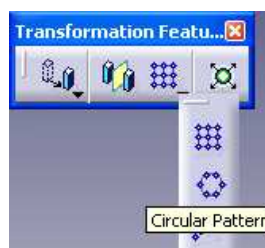


Dejaremos por defecto la cota que aparece que tendrá un valor de 0mm, de esta forma situaremos el agujero en la cara circular seleccionada.

A continuación salimos del **Sketch** haciendo clic en **Exit Workbench**  y una vez situados en la pantalla de la pieza damos a **Ok** en la ventana de **Hole Definition**.

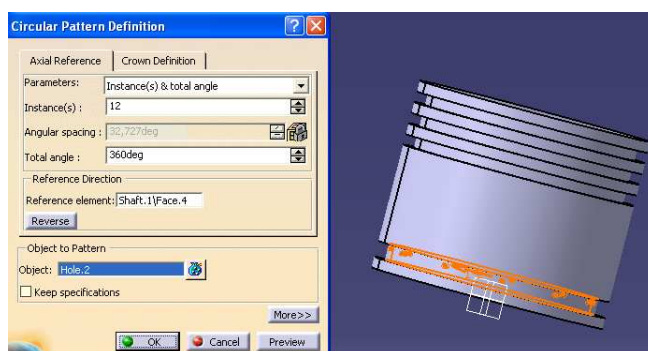


Ahora deberemos crear otro doce agujero como el anterior alrededor de la ranura, para ello en la paleta **Transformation Features** desplegamos un menú haciendo clic en la flecha negra debajo de la orden **Rectangular Pattern** y seleccionamos la herramienta **Circular Pattern**.

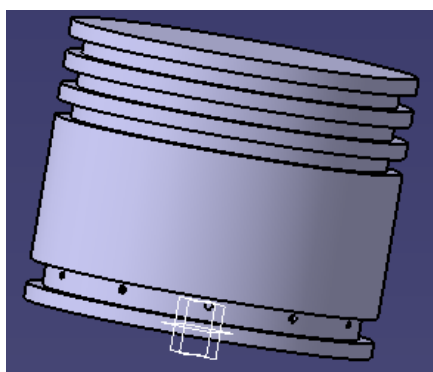


Aparecerá una ventana llamada **Circular Pattern Definition** en la cual podremos definir los parámetros para copiar el agujero a lo largo de la superficie circular. Veremos en la parte superior una pestaña llamada **Axial Reference** en la que habrá varias opciones para rellenar. En la primera llamada **Parameters** desplegaremos el menú haciendo clic en la flecha negra y elegiremos la opción **Instance(s) & Total Angle** servirá para poner el total de agujeros que queramos hacer y el ángulo total sobre el que se quieren crear. Debajo en la opción **Instance(s)** pondremos 12 y en **Total Angle** pondremos 360 deg

Seguidamente habrá un apartado llamado **Reference Direction** y en **Reference Element** seleccionaremos la cara interior de al ranura donde se sitúan los agujeros. En el apartado último llamado **Object to Pattern** seleccionamos el agujero creado anterior mente. Para acabar hacemos clic en **Ok**.



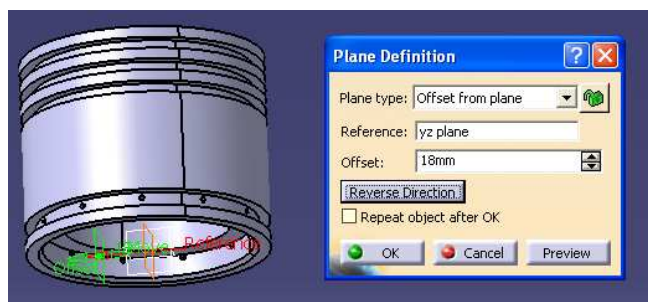
La pieza quedará de la siguiente forma una vez creados todos los agujeros.



El siguiente paso será diseñar el apoyo del bulón y su alojamiento. Para ello nos apoyaremos en un plano de referencia para crear dicho apoyo. En la pantalla inicial localizaremos la paleta **Reference Elements**, seleccionaremos la orden **Plane**.





Aparecerá una ventana llamada **Plane Definition** en la que podremos elegir las características del plano que queremos crear. En la opción **Plane Type** dejamos por defecto la orden que sale **Offset from plane**, creará un plano a una distancia de un plano de referencia elegido. En **Reference** elegimos haciendo clic el plano **zx** y en **Offset** pondremos 18mm. Daremos a **Ok**.

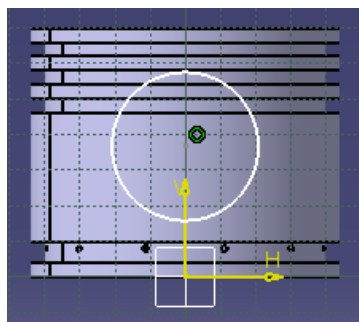
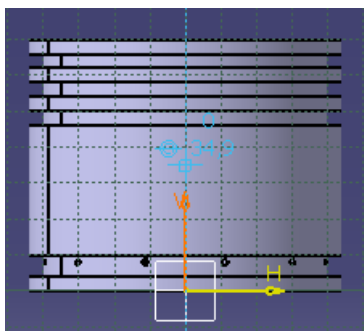



Seguidamente empezaremos a diseñar el apoyo del bulón apoyándonos en el plano creado. En la paleta **Sketch-Based Features** hacemos clic en la orden **Pad**.

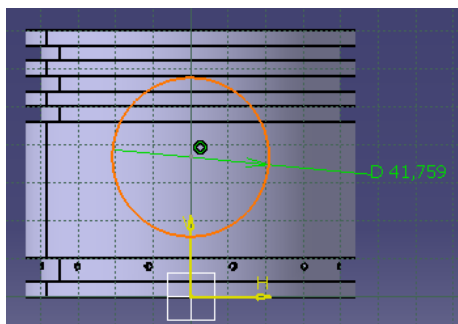


Nos saldrá la ventana ya vista **Pad Definition** en la que daremos a la herramienta **Profile/Surface**  para dibujar el perfil. Una vez seleccionada deberemos elegir el plano sobre el que dibujar, en este caso haremos clic en el plano de referencia llamado **Plane.2**.

Una vez situados en la pantalla del **Sketch**, seleccionamos en la paleta **Profile** la herramienta **Circle** . Hacemos clic en un punto de corte con la prolongación del eje Vertical de referencia sobre la pieza y creamos una circunferencia cualquiera volviendo a hacer clic en otro punto.

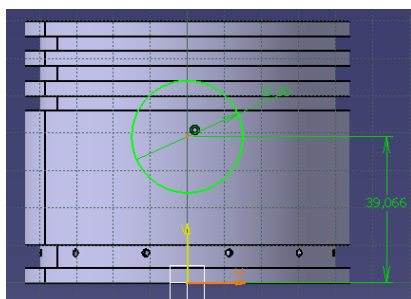


Después de que hemos fijado la circunferencia habrá que dimensionarla, para ello en la paleta **Constraint** seleccionamos con doble clic la herramienta **Constraint** . Hacemos clic sobre la circunferencia y fijamos la cota con otro clic.

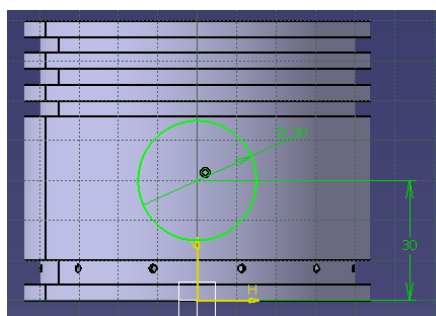



Hacemos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** cambiaremos el valor de la cota en la opción **Diameter**, pondremos 30mm que será el diámetro del apoyo. Daremos a **Ok**.

Seguidamente seleccionamos el eje Horizontal de referencia y después el centro de la circunferencia creada, hacemos otro clic para fijar la cota.

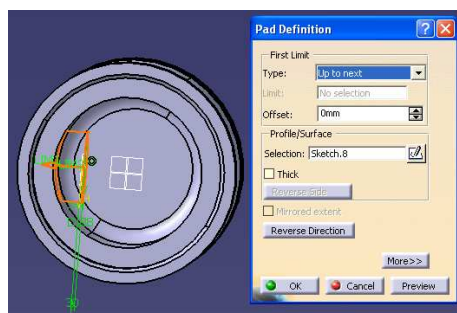


Con doble clic sobre la cota aparece la ventana **Constraint Definition** y cambiaremos el valor de la cota en la opción **Value**, pondremos 30mm que será la altura a la que se situará el apoyo. Daremos a **Ok**.

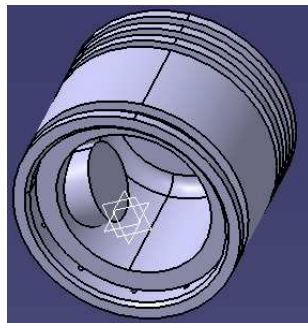



A continuación salimos del **Sketch** haciendo clic en **Exit Workbench**  y una vez situados en la pantalla de la pieza pondremos los parámetros en la ventana **Pad Definition**. Si la representación de la extrusión tiene la dirección hacia la superficie del hueco más alejada deberemos seleccionar en la ventana la opción **Reverse Direction** para que la dirección de la extrusión sea hacia la superficie más cercana.

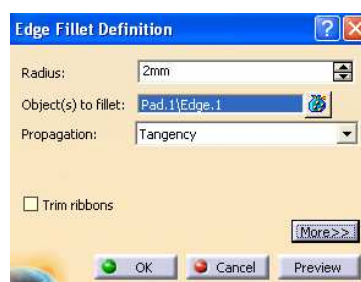
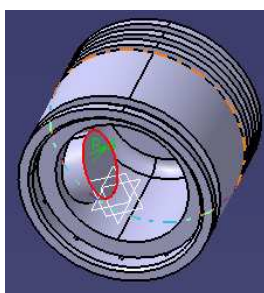
En el apartado **First Limit** encontraremos la opción **Type**, haremos clic en la flecha negra para desplegar el menú y seleccionaremos la opción **Up to Next**.




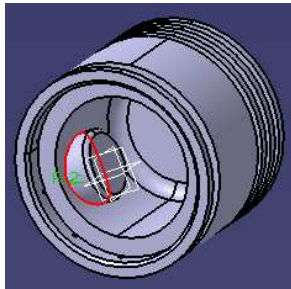
Seguidamente daremos clic en **Ok** y el apoyo nos quedará de la siguiente forma.



Después procederemos a redondear las aristas del apoyo. Para ello en la paleta **Dress-Up Features** seleccionamos la orden **Edge Fillet** . Aparecerá una ventana llamada **Edge Fillet Definition** en la que podremos poner el radio que queramos en la opción **Radius** en este caso pondremos 2mm. En la siguiente opción, **Objects to Fillet**, seleccionaremos el vértice exterior haciendo clic. Daremos clic en **Ok**.




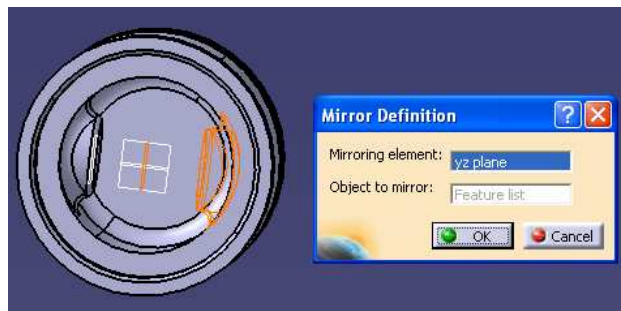
Para la siguiente arista procederemos de igual forma que la anterior, es decir, en la paleta **Dress-Up Features** seleccionamos la orden **Edge Fillet** . Y en la ventana **Edge Fillet Definition** pondremos el radio en la opción **Radius** que será 4mm. En la siguiente opción, **Objects to Fillet**, seleccionaremos el vértice interior del apoyo haciendo clic. Daremos clic en **Ok**.



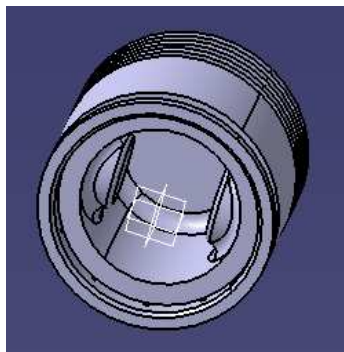
Una vez terminado el que será el apoyo del bulón habrá que hacer el mismo pero en el otro lado del pistón, para ello utilizamos la simetría. Seleccionamos haciendo clic y con la tecla Control pulsada las operaciones del apoyo **Pad.1**, **EdgeFillet.1** y **EdgeFillet.2**.



Seguidamente en la paleta **Transformation Features** encontramos la herramienta **Mirror** , la seleccionamos y en la ventana **Mirror Definition** encontramos la orden **Mirroring Element** para seleccionar el plano sobre el que hacer simetría, en nuestro caso será en plano **zx** sobre el cual haremos clic. Daremos después a **Ok**.




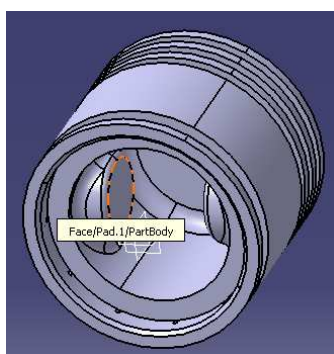
Una vez terminados los dos apoyos quedarán de la siguiente forma.




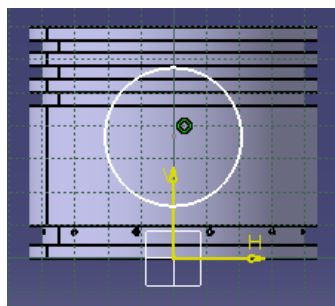
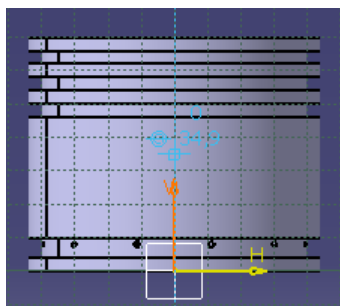
Ahora diseñaremos el agujero donde se alojará el bulón dentro del apoyo. Así pues seleccionamos en la paleta **Sketch-Based Features** la herramienta **Pocket** la cual nos servirá para realizar el agujero en dos direcciones.




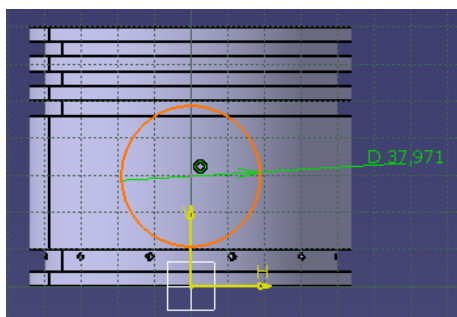
En la ventana **Pocket Definition** hacemos clic en la pestaña **Profile/Surface**  y seguidamente elegimos la cara plana del apoyo donde realizaremos el agujero.



Una vez situados hacemos clic en la herramienta **Circle**  situada en la paleta **Profile**. Hacemos clic en un punto de corte con la prolongación del eje Vertical de referencia sobre la pieza y creamos una circunferencia cualquiera volviendo a hacer clic en otro punto.

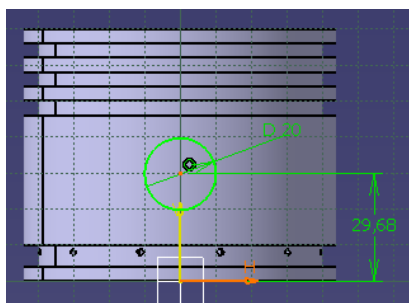


Después de que hemos fijado la circunferencia la dimensionaremos, para ello en la paleta **Constraint** seleccionamos con doble clic la herramienta **Constraint** . Hacemos clic sobre la circunferencia y fijamos la cota con otro clic.

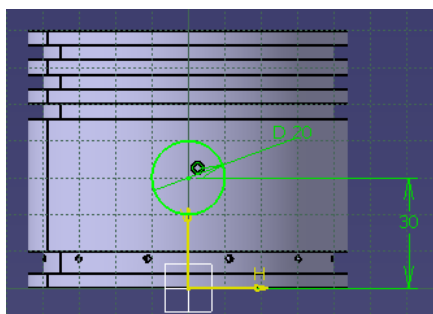



Hacemos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** cambiaremos el valor de la cota en la opción **Diameter**, pondremos 20mm que será el diámetro del agujero donde irá alojado el bulón. Daremos a **Ok**.

Seguidamente seleccionamos el eje Horizontal de referencia y después el centro de la circunferencia creada, hacemos otro clic para fijar la cota.

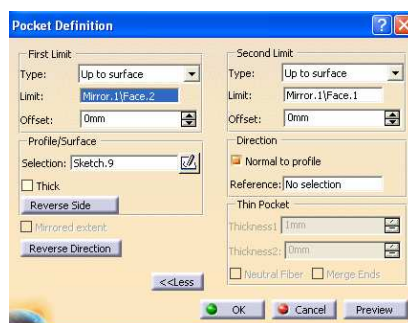
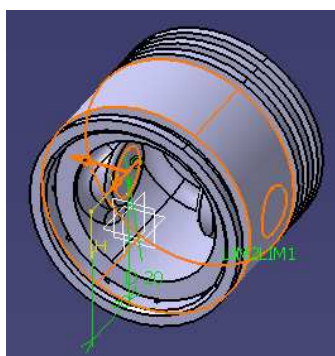


Hacemos doble clic sobre la cota, aparece la ventana **Constraint Definition** y cambiaremos el valor de la cota en la opción **Value**, pondremos 30mm que será la altura a la que se situará el alojamiento del bulón. Daremos a **Ok**.

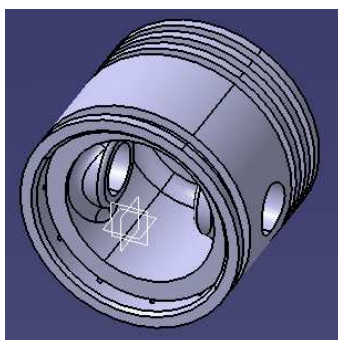


Una vez finalizado el **Sketch** saldremos de este haciendo clic en la opción **Exit Workbench**  para situarnos en la pantalla de la pieza. Veremos la ventana **Pocket Definition** donde definiremos los límites de nuestro agujero. Debido a que la extrusión se va a realizar en dos direcciones habrá que seleccionar en la ventana la pestaña **More**.

Nos aparecerá la ventana extendida con dos apartados **First Limit** y **Second Limit**, en ambos habrá una opción llamada **Type** en la que daremos clic en la flecha para desplegar el menú. Seleccionaremos en ambos la opción **Up to Surface** y debajo en habrá otra opción llamada **Limit** haremos clic en la casilla y después en la superficie exterior del pistón. Haremos clic en **Ok** para acabar.




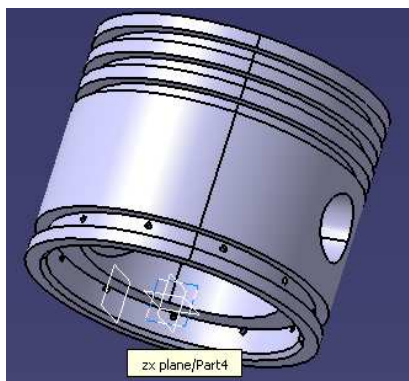
Una vez terminado el alojamiento del bulón la pieza nos quedará de la siguiente forma.




Para acabar la pieza solo nos quedará diseñar los alojamientos de los anillos circlip que sujetarán el bulón dentro de su alojamiento. Para ello deberemos utilizar la herramienta **Groove** situada en la paleta **Sketch-Based Feature**. Esta herramienta nos permitirá crear un perfil cuya extrusión entorno a un eje nos creará un vaciado.

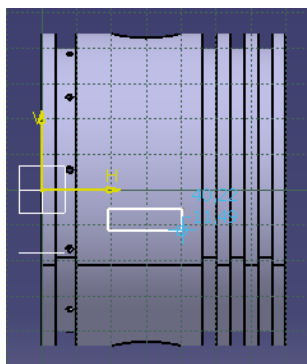



Nos aparecerá una ventana llamada **Groove Definition** en donde podremos definir el ángulo de giro de la extrusión. Hacemos clic en la herramienta **Profile/Surface**  y seleccionamos el plano sobre el que dibujar, en este caso el plano que pasa por el eje del agujero del bulón, será el plano **zx**.



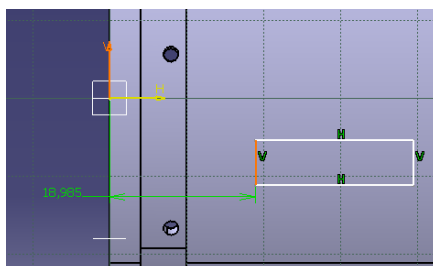
Una vez situados en la pantalla del **Sketch** nos dispondremos a dibujar el perfil del hueco donde irá situado en anillo circlip, para ello en la paleta **Profile** hacemos clic en la herramienta **Rectangle** .

Con el cursor hacemos clic en un punto de la pantalla que este dentro de la pieza y nos movemos diagonalmente hacia la derecha y abajo y hacemos clic en un punto cualquiera.



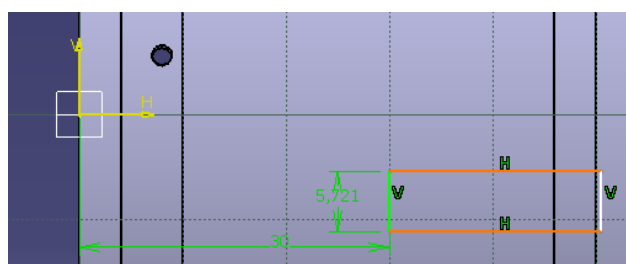
Hemos creado un rectángulo sin medidas y sin posicionar, seguidamente en la paleta **Constraint** haremos doble clic sobre la herramienta **Constraint**  para acotar dicho rectángulo y situarlo. Este perfil hará referencia a medio hueco del anillo ya que después la extrusión completará dicho hueco.

Por tanto, haremos clic en el eje de referencia Vertical y después en el lado pequeño más cercano al eje, fijaremos la cota con otro clic.



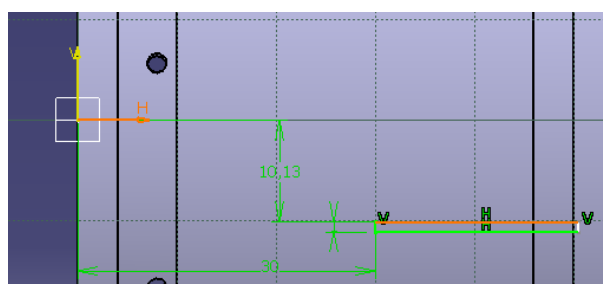
Hacemos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** y cambiaremos el valor de la cota en la opción **Value**, pondremos 30mm que será la altura a la que se situará el alojamiento del anillo circlip. Daremos a **Ok**.

Después acotaremos la anchura del hueco, para ello hacemos clic en cada uno de los lados largos del rectángulo y fijamos la cota con otro clic.



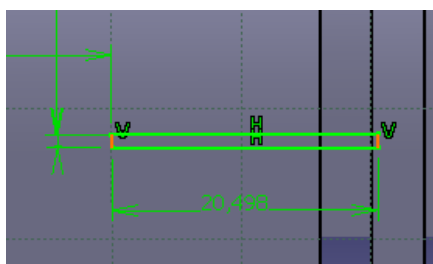
Damos doble clic sobre la cota, aparece la ventana **Constraint Definition** y cambiaremos el valor de la cota en la herramienta **Value**, pondremos 1mm que será la anchura que tendrá el anillo circlip. Daremos a **Ok**.

Seguidamente haremos clic en el eje de referencia Horizontal y después en el lado superior mas largo del rectángulo, fijaremos la cota con otro clic.

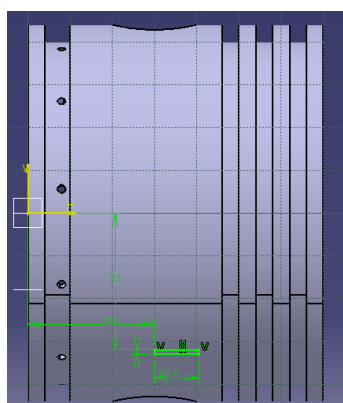



Daremos doble clic sobre la cota, aparece la ventana **Constraint Definition** y cambiaremos el valor de la cota en la opción **Value**, pondremos 32mm que será la distancia del alojamiento al centro de la pieza. Coincidirá con la medida del bulón. Daremos a **Ok**.

Para acabar definiremos la altura del rectángulo que hará referencia al radio del hueco del anillo. Hacemos clic en cada uno de los lados pequeños del rectángulo y fijamos la cota con otro clic.

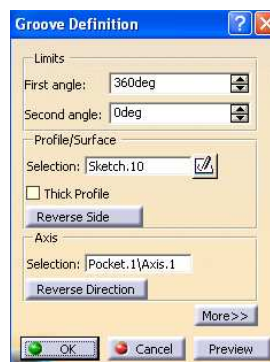
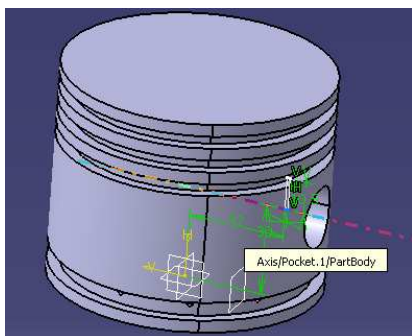


Damos doble clic sobre la cota y en la ventana **Constraint Definition** y cambiaremos el valor de la cota en la opción **Value**, pondremos 10,5mm que será el radio del alojamiento del anillo circlip. Daremos a **Ok**.

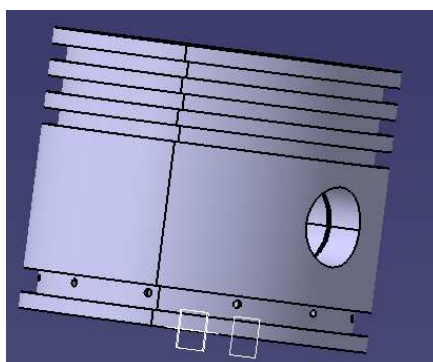


Una vez finalizado el **Sketch** saldremos de este haciendo clic en la opción **Exit Workbench**  y aparecemos en la pantalla de la pieza donde veremos la ventana **Groove Definition**. En el primer apartado llamado **Limits** en la opción **First Angle** pondremos 360deg.

Y en el apartado **Axis** deberemos seleccionar el eje sobre el que va a rotar el perfil, con el cursor nos situamos sobre la superficie del agujero donde irá el bulón y nos aparece un eje con línea discontinua, hacemos clic sobre la superficie.




Una vez definidos todos los parámetros hacemos clic en **Ok**. El agujero del anillo circlip nos quedará de la siguiente forma.

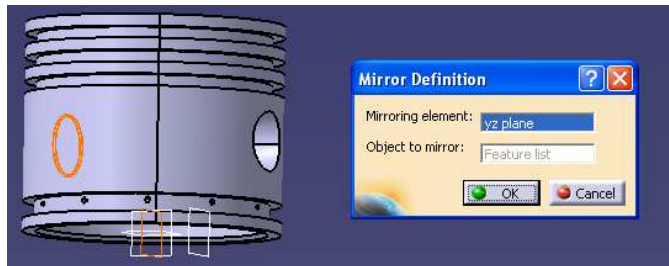


Para acabar habrá que copiar el hueco para el anillo en el otro apoyo. Seleccionamos en el árbol de operaciones el hueco para el anillo circlip.



Seguidamente en la paleta **Transformation Features** encontramos la herramienta **Mirror**  la cual vamos a seleccionar.

Nos aparecerá la ventana **Mirror Definition** encontramos la orden **Mirroring Element** para seleccionar el plano sobre el que hacer simetría, en nuestro caso será en plano **yz** sobre el cual haremos clic.

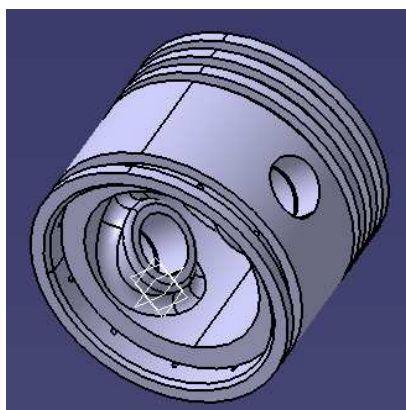


Para terminar la operación damos clic en **Ok** y ya tendremos diseñados los dos huecos donde irán los anillos circlip que se encargarán de sostener al bulón en su agujero.

Para ocultar el plano de apoyo creado anteriormente lo buscamos en el árbol **Plane.2**, en este caso, y con el botón secundario del ratón desplegamos un menú en el que seleccionamos la opción **Hide/Show**, para ocultarlo.



El pistón ya estará acabado y quedará de la siguiente forma.



5- Casquillo


El casquillo que vamos a diseñar es la pieza que se coloca entre el cigüeñal y el apoyo inferior de la biela amarrado con la contrabiela.

5.1 Casquillo

Vamos a diseñar el casquillo mediante la extrusión, simplemente, de una corona circular y después la recortaremos por la mitad. Para ello nos situamos en la pantalla de inicio de CATIA y en el menú superior se da un clic en **Start**, a continuación nos situamos en **Mechanical Design** y se abrirá una nueva ventana en la que elegiremos mediante un clic **Part Design**.


Nos aparecerá una ventana llamada **New Part** en el que se dará un nombre a la pieza a realizar, como anteriormente el nombre que sale por defecto es Part1, pero como ya pertenece a otra pieza en este caso pondremos Part5 y daremos a **Ok**.




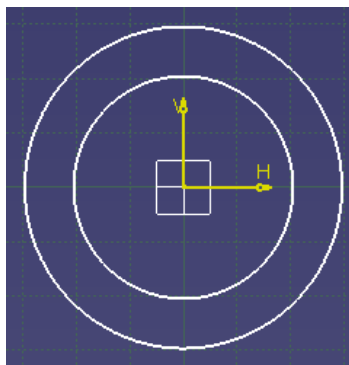
Antes de empezar a dibujar guardaremos el archivo del casquillo, para ello en la ventana **Standard** hacemos clic en , nos saldrá la ventana **Save As** en la que pondremos el nombre Casquillo y daremos a Guardar una vez buscado el directorio que queramos.


Para empezar a dibujar el casquillo localizamos la paleta **Sketch-Based Features** hacemos clic en la orden **Pad**.

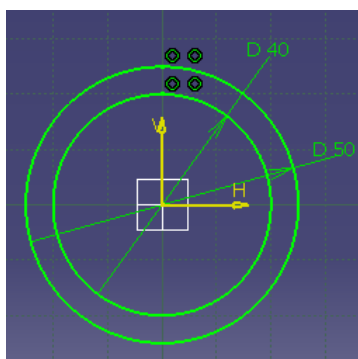



Nos saldrá la ventana ya vista **Pad Definition** en la que daremos clic en la pestaña **Profile/Surface**  para dibujar el perfil del casquillo. Una vez seleccionada deberemos elegir un plano sobre el que dibujar, en este caso haremos clic en el plano **yz**. Una vez seleccionado el plano automáticamente iremos a la pantalla del **Sketch**.

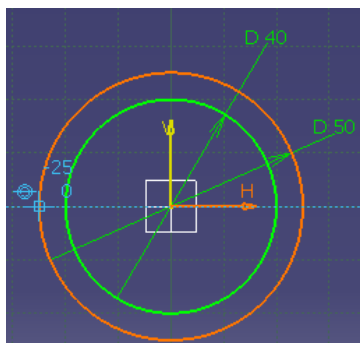
En la paleta **Profile** hacemos clic en la herramienta **Circle**  movemos el cursor hasta el centro de coordenadas y hacemos clic para crear una circunferencia que tendrá un radio cualquiera y volveremos a hacer clic para mantenerla. Volveremos a ejecutar la orden **Circle** y haremos otra circunferencia con el mismo centro que la anterior pero será de diámetro mayor.



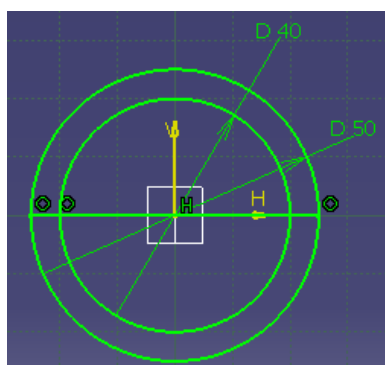
Ahora acotaremos las circunferencias, en la paleta **Constraint** haremos clic en la orden **Constraint**  y seleccionaremos con el cursor la circunferencia más pequeña, nos saldrá su cota la cual fijaremos con otro clic. Volvemos a seleccionar **Constraint** para acotar la otra circunferencia. Les daremos un valor los diámetros haciendo doble clic sobre la cota, aparecerá la ventana **Constraint Definition** y en **Diameter** pondremos en la circunferencia pequeña 40mm y en la grande 50mm. Daremos a **Ok**.




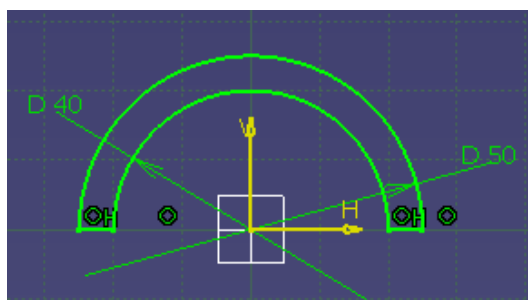
Seguidamente eliminaremos media circunferencia. Para ello en la paleta **Profile** seleccionamos la orden **Line** . Moveremos el cursor hasta el punto de la circunferencia exterior que corta con la prolongación del eje Horizontal.




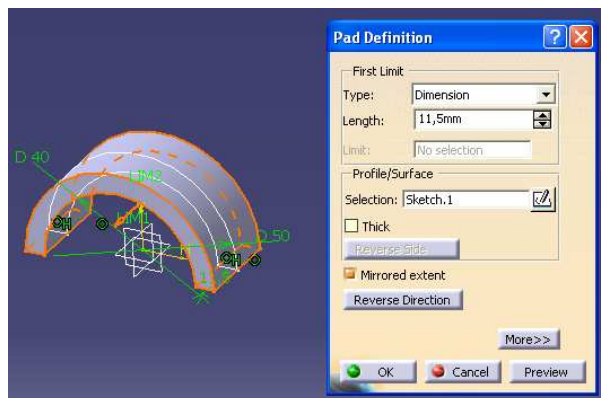
Haremos clic y ese punto será el inicio de la línea que divide las circunferencias. Desplazaremos la línea y daremos clic para finalizarla en el punto opuesto de la circunferencia exterior.




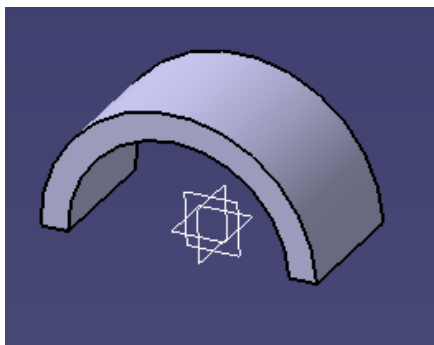
Una vez finalizado borraremos las líneas sobrantes. En la paleta **Operation** desplegaremos el menú de la orden **Trim** dando clic en la flecha negra. Seleccionaremos con doble clic la herramienta de borrar **Quick Trim** . Con el cursor haremos clic en las medias circunferencias inferiores y en la línea central. Nos quedará de la siguiente forma.



Acabado el **Sketch** saldremos de este haciendo clic en **Exit Workbench**  para acabar el **Pad**. En la ventana **Pad Definition** seleccionaremos la opción **Mirrored extent** para que la extrusión deje centrados los ejes. Para acabar en la orden **Length** pondremos una anchura de 11,5mm. Daremos a **Ok**.



Acabado el dibujo en el **Sketch** saldremos de este haciendo clic en la orden en **Exit Workbench**  para acabar el **Pad**. En la ventana **Pad Definition** seleccionaremos la opción **Mirrored extent** para que la extrusión deje centrados los ejes. Para acabar en la orden **Length** pondremos una anchura de 11,5mm. Terminaremos haciendo clic en **Ok**.



6- Bulón


El bulón será la pieza que una la biela y el pistón para transmitir el movimiento de esta.

6.1 Bulón

Vamos a diseñar el bulón mediante la extrusión como en la pieza anterior, de una corona circular. Para ello nos situamos en la pantalla de inicio de CATIA y en el menú superior se da un clic en **Start**, a continuación nos situamos en **Mechanical Design** y se abrirá una nueva ventana en la que elegiremos mediante un clic **Part Design**.


Nos aparecerá una ventana llamada **New Part** en el que se dará un nombre a la pieza a realizar, como anteriormente el nombre que sale por defecto es Part1, pero como ya pertenece a otra pieza en este caso pondremos Part6 y daremos a **Ok**.




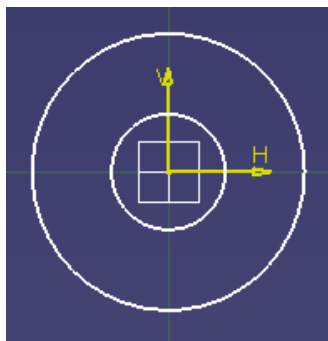
Antes de empezar a dibujar guardaremos el archivo del bulón que nos disponemos a diseñar, para ello en la ventana **Standard** hacemos clic en , nos saldrá la ventana **Save As** en la que pondremos el nombre Bulón y daremos a Guardar una vez buscado el directorio deseado.


Para empezar a dibujar el bulón en la paleta **Sketch-Based Features** hacemos clic en la orden **Pad**.

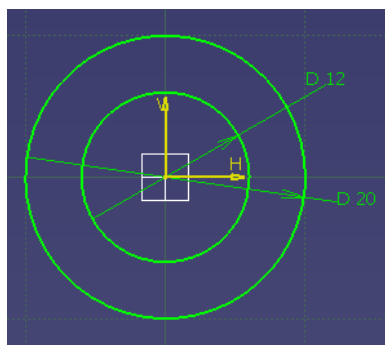



Nos saldrá la ventana ya vista **Pad Definition** en la que daremos clic en la pestaña **Profile/Surface**  para dibujar el perfil del bulón. Una vez seleccionada deberemos elegir un plano sobre el que dibujar, en este caso haremos clic en el plano **yz**. Una vez seleccionado el plano automáticamente iremos a la pantalla del **Sketch**.

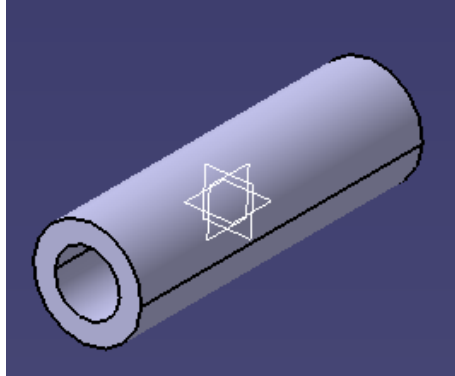
En la paleta **Profile** hacemos clic en la herramienta **Circle**  movemos el cursor hasta el centro de coordenadas y hacemos clic para crear una circunferencia que tendrá un diámetro cualquiera y volveremos a hacer clic para mantenerla. Volveremos a ejecutar la orden **Circle** y haremos otra circunferencia con el mismo centro que la anterior pero será de diámetro mayor.



Ahora acotaremos las circunferencias, en la paleta **Constraint** haremos clic en la orden **Constraint**  y seleccionaremos con el cursor la circunferencia más pequeña, nos saldrá su cota la cual fijaremos con otro clic. Volvemos a seleccionar **Constraint** para acotar la otra circunferencia. Les daremos un valor los diámetros haciendo doble clic sobre la cota, aparecerá la ventana **Constraint Definition** y en **Diameter** pondremos en la circunferencia pequeña 12mm y en la grande 20mm. Daremos a **Ok**.



Acabado el dibujo en el **Sketch** saldremos de este haciendo clic en la orden en **Exit Workbench**  para acabar el **Pad**. En la ventana **Pad Definition** seleccionaremos la opción **Mirrored extent** para que la extrusión deje centrados los ejes. Para acabar en la orden **Length** pondremos una anchura de 32mm, por lo que el bulón tendrá un total de 64mm de largo. Terminaremos haciendo clic en **Ok**.



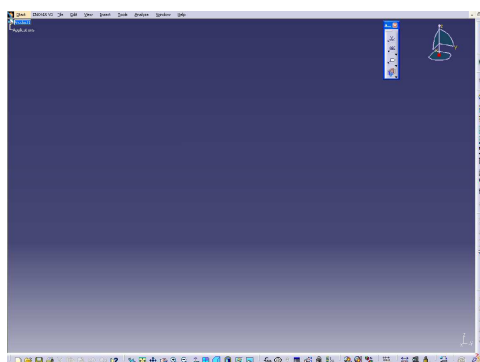
7- Ensamblaje


7.1 Cigüeñal

Vamos a realizar el ensamblaje de las piezas diseñadas para ello, además de las piezas deberemos obtener varias piezas normalizadas para completar el montaje. Dichas piezas serán un rodamiento, dos anillos circlip y dos tornillos. Para realizar un ensamblaje con CATIA llevaremos el cursor a la parte superior izquierda donde en la pestaña **Start** haremos un clic. Seguidamente se abrirá un nuevo menú, nos situaremos con el cursor encima de la opción **Mechanical Design** y en el nuevo desplegable haremos clic en la opción **Assembly Desing**.



Se abrirá una nueva pantalla de ensamblaje, cuyo árbol de operaciones hará referencia a que estamos trabajando con el product1. En dicha pantalla será donde montaremos el conjunto ayudándonos de una serie de restricciones de posicionamiento.



Guardamos todas las operaciones que vayamos realizando haciendo clic en la paleta **Standard** en la herramienta **Save**. Al ser la primera vez que la utilizamos nos aparecerá una ventana para guardar la pieza como un archivo **catproduct** en el directorio que creamos correspondiente, y le pondremos el nombre por ejemplo, Montaje_motor. Daremos clic en **Guardar** .

Iremos introduciendo las piezas y colocándolas con las herramientas que aparecen en la barra de operaciones de la derecha. Para introducir la primera pieza haremos clic en el árbol de operaciones sobre el **Product1**, habrá que seleccionarlo para introducir una pieza o componente siempre.

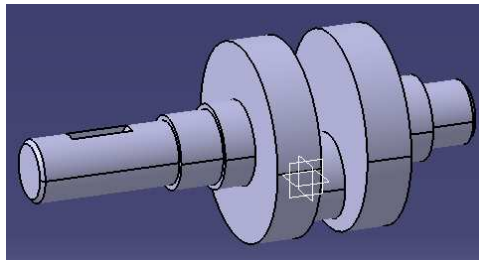


Seguidamente localizamos la paleta llamada **Product Structure Tools** en la que de todas las herramientas que hay seleccionaremos **Existing Component**.




Al hacer clic sobre ella nos aparecerá una ventana denominada **File Selection** en la cual buscaremos la carpeta donde estén las piezas diseñadas anteriormente. Haremos clic sobre la primera pieza que será el cigüeñal y seguidamente le daremos a abrir.

Automáticamente el cigüeñal aparecerá en la pantalla del ensamblaje con sus planos de referencia. Esta será la pieza base sobre la que montaremos el resto de las piezas.




Fijaremos el cigüeñal para que no se mueva cuando introduzcamos las piezas, para ello en la paleta **Constraints** haremos clic en la opción **Fix Component**.

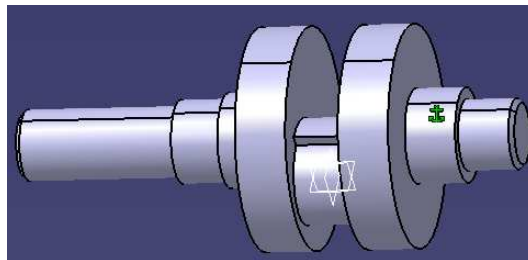


Después seleccionaremos el cigüeñal para fijarlo, nos aparecerá un icono que hará referencia a la restricción .

7.2 Casquillos

En el eje descentrado del cigüeñal colocaremos los casquillos, para ello seleccionamos en el árbol de operaciones el **Product1** y seguidamente volvemos a seleccionar **Existing Component** , en la ventana **File Selection** hacemos clic sobre el casquillo y le damos a abrir.

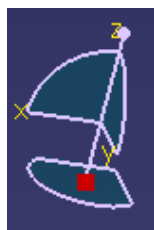
El casquillo se colocará en una región de la pantalla, en este caso se ha colocado sobre el cigüeñal debido a que coinciden los planos, esto pasará con todas las piezas.



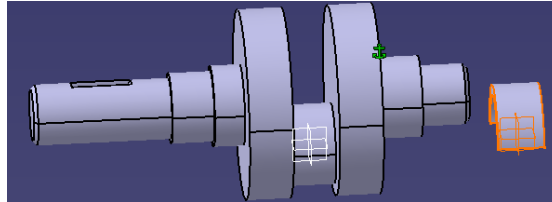
La pieza esta colocada pero no esta conectada con la otra pieza, por tanto, deberemos darle una serie de restricciones que la relacionen geométricamente con el cigüeñal. Además para una mejor visualización moveremos el casquillo, en la paleta **Move** haremos clic sobre la herramienta **Manipulation**.



Nos aparecerá una ventana denominada **Manipulation parameters** en la podremos elegir el eje en el que movemos la pieza. Viene por defecto el eje x seleccionado, deberemos fijarnos en los ejes de la parte superior derecha para saber si esa dirección es la que queremos para mover la pieza.




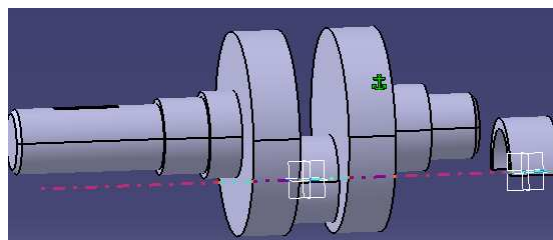
Dejamos la elección del eje x y hacemos un clic manteniéndolo pulsado sobre el casquillo después movemos la pieza arrastrando el ratón hasta que quede fuera del cigüeñal y veamos el casquillo. Daremos clic a **Ok** en la ventana **Manipulation parameters**.



Ahora ya podremos poner restricciones entre el cigüeñal y el casquillo de forma sencilla, ya que todas las caras se pueden visualizar. En la paleta **Constraints** tendremos una serie de órdenes para poner restricciones entre piezas.

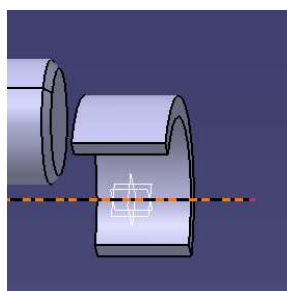



La primera que utilizaremos será **Coincidence Constraint** , con la que haremos que coincidan los ejes del casquillo y cigüeñal. Una vez seleccionada moveremos el cursor sobre la superficie circular del eje excéntrico del cigüeñal y veremos un eje discontinuo.




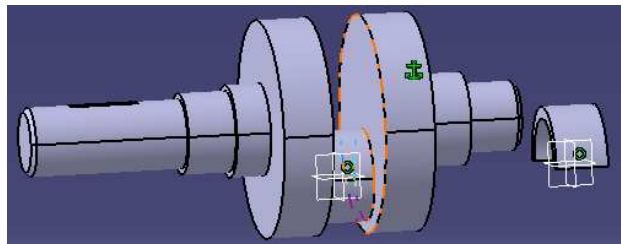
Haremos clic sobre la superficie circular para seleccionar dicho eje, el cual se pondrá de color naranja.

Después nos moveremos hasta ver la superficie circular interior del casquillo, sobre la cual situaremos el cursor para ver el eje discontinuo que queremos hacer coincidir.

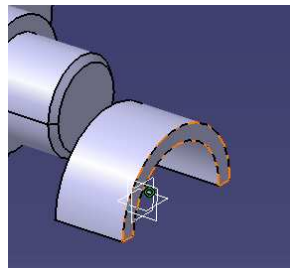



Lo seleccionamos y ya tendremos los dos ejes vinculados ya que aparecerán unos círculos naranjas que harán referencia a la coincidencia entre ejes.

Seguidamente pondremos otra restricción en este caso será de coincidencia entre caras, en la paleta vista **Constraints** seleccionamos la herramienta **Contact Constraint** . Una vez seleccionada moveremos el cursor hasta la cara del cigüeñal sobre la que se quiere hacer coincidir.



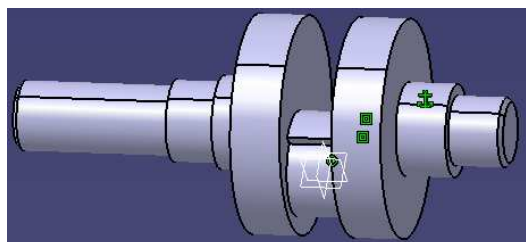
Hacemos clic sobre ella y quedara seleccionada. Después iremos al casquillo y haremos clic sobre la cara que queramos que coincida.





Se creará una nueva restricción cuyo dibujo será un cuadrado  y nos indicará que hay coincidencia entre caras. La pieza no se habrá movido de su sitio ya que tendremos que actualizar el ensamblaje. Para ello hay una opción, en la paleta **Update**, llamada **Update All** sobre la cual haremos clic para situar la pieza en su sitio.



El ensamblaje con el casquillo quedará de la siguiente forma.

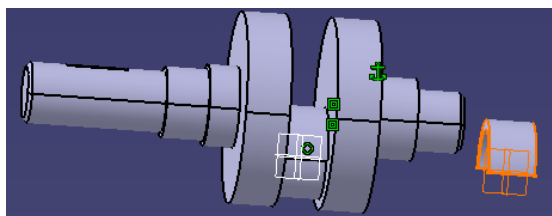



Ahora colocaremos el otro casquillo que va situado debajo. Para ello seguiremos los mismos pasos que para el anterior. Seleccionaremos con un clic el **Product1** en el árbol, seleccionamos en la paleta **Product Structure Tools** la herramienta **Existing Component** , y en la ventana **File Selection** hacemos clic sobre el casquillo y le damos a abrir. El casquillo se colocará esta vez en la misma posición del casquillo ya colocado y por lo tanto parecerá que hay solo un casquillo.

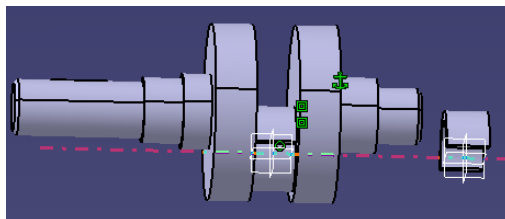
En la paleta **Move** haremos clic sobre la herramienta **Manipulation**  y nos aparecerá la ventana denominada **Manipulation parameters** en la que dejaremos la opción elegida por defecto eje x.



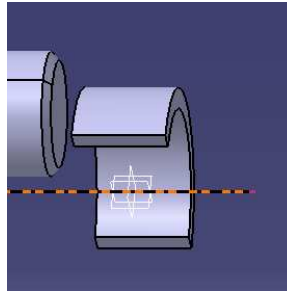
Haremos un clic mantenido sobre el casquillo (fijándonos que en el árbol se selecciona la ultima pieza añadida) y después lo moveremos hasta fuera del conjunto. Daremos a **Ok**.




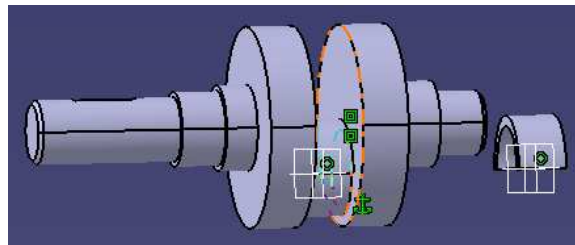
Para situar el nuevo casquillo en la paleta **Constraints** seleccionamos la herramienta **Coincidence Constraint**  y volvemos a movernos con el cursor hasta la superficie inferior del eje excéntrico del cigüeñal para visualizar el eje.



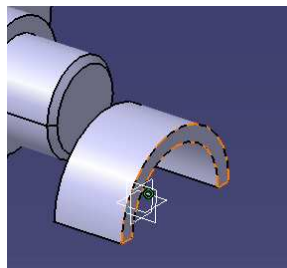
Haremos clic y seguidamente sobre la superficie interior del nuevo casquillo situaremos el cursor para visualizar el eje que queremos hacer coincidir.




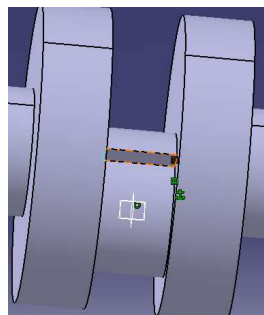
Daremos clic en dicha superficie para crear la restricción de coincidencia entre ejes. Seguidamente haremos clic en **Contact Constraint**  para crear la restricción entre caras. Una vez seleccionada haremos clic sobre la superficie interior del cigüeñal que queremos que coincida.



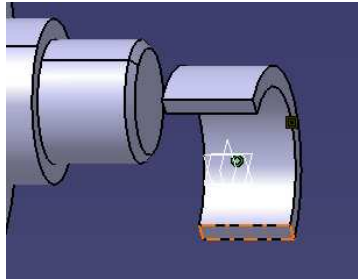
Después iremos al casquillo y seleccionaremos la cara lateral a coincidir con la del cigüeñal.





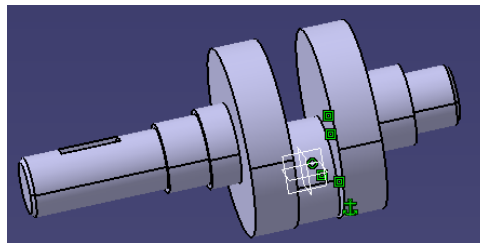
Este casquillo necesitará otra restricción que lo relacione al otro casquillo, por lo tanto hacemos clic en **Contact Constraint**  y seleccionamos la cara inferior del casquillo ya montado.




Ahora iremos al casquillo sin colocar y daremos clic sobre la cara inferior que tenga que coincidir con la del casquillo ya montado.




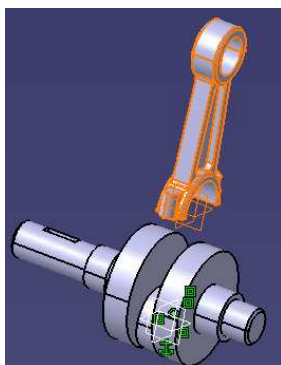
Actualizaremos el ensamblaje en la paleta **Update**, haciendo clic en **Update All**  para situar la pieza en su sitio. Ya tendremos situados los dos casquillos sobre los que se apoyará la biela. Daremos clic en **Guardar** .




7.3 Biela

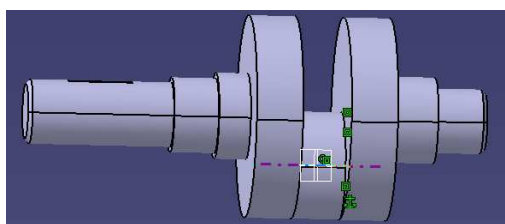
A continuación nos dispondremos a montar la biela sobre el casquillo. Para ello vamos al árbol y hacemos clic sobre el **Product1**. Seguidamente en la paleta **Product Structure Tools** hacemos clic en la herramienta **Existing Component** , y en la ventana **File Selection** seleccionamos la biela, le damos a abrir. Nos aparecerá la biela puesta de forma correcta sobre el casquillo, aunque la pieza estará sin relacionar con el resto del ensamblaje.

Moveremos la biela como ya se ha visto, en la paleta **Move** haremos clic sobre la herramienta **Manipulation**  y nos aparecerá la ventana denominada **Manipulation parameters** en este caso seleccionaremos el eje z, haremos clic mantenido sobre la biela y la moveremos hacia arriba. Daremos a **Ok**.

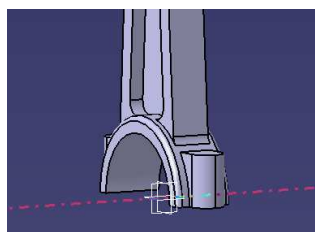



Una vez situada la biela podremos las restricciones que la relacionen con el resto del ensamblaje. Para ello en la paleta **Constraint** hacemos clic en la herramienta **Coincidence Constraint** .

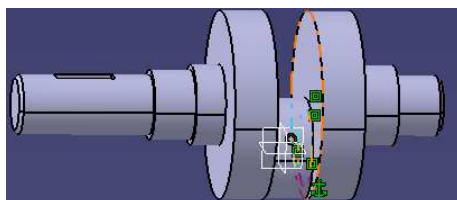
A continuación movemos el cursor sobre la superficie del casquillo superior hasta que aparezca el eje discontinuo.



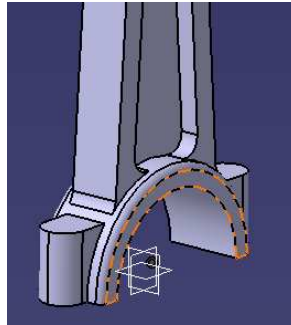
Haremos clic sobre dicha superficie y después moveremos el cursor hasta la superficie interna del apoyo de la biela para ver el eje discontinuo que queremos hacer coincidir.




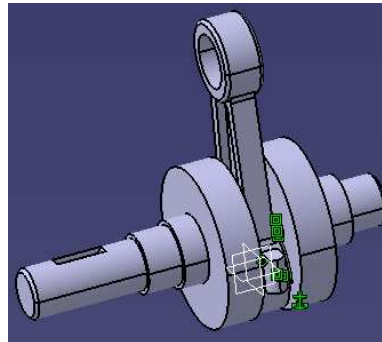
Daremos clic sobre la superficie para crear la restricción de coincidencia entre ejes. Ahora procederemos a crear la restricción de coincidencia ente caras de la biela con el cigüeñal. En la paleta **Constraint**, ya vista, seleccionamos la herramienta **Contact Constraint** . A continuación hacemos clic sobre la superficie del cigüeñal que queremos relacionar.




Seguidamente vamos a la biela y hacemos clic en la cara coincidente en la que pondremos la restricción.




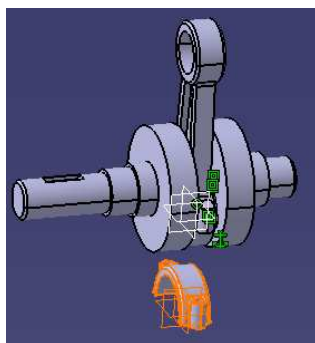
Por último solo quedará actualizar el ensamblaje para ver la pieza en su sitio después de poner las restricciones. En la paleta **Update** hacemos clic en **Update All** . La biela quedará de la siguiente forma.




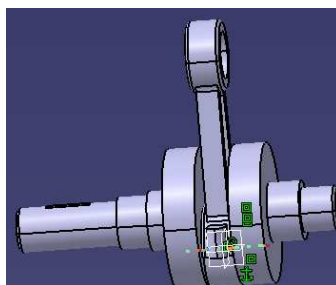
7.4 Contrabiela

El siguiente paso será colocar la contrabiela con sus tornillos para tener la biela completamente amarrada al cigüeñal. Para ello volvemos a seleccionar el **Product1** en el árbol y seguidamente en la paleta **Product Structure Tools**, hacemos clic en **Existing Component** . En la ventana **File Selection** elegiremos la contrabiela y le daremos a abrir.

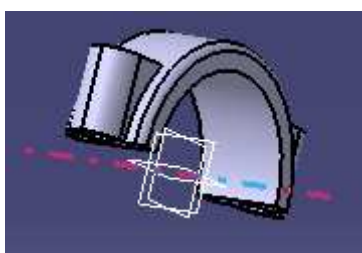
La nueva pieza aparecerá inmersa en la biela ya puesta y deberemos moverla para poder relacionarla fácilmente. En la paleta **Move** haremos clic sobre la herramienta **Manipulation**  y aparecerá **Manipulation parameters**. Dejaremos seleccionado el eje z y haremos clic mantenido en la contrabiela y la movemos hacia abajo. Sabremos que la hemos seleccionado ya que en el árbol veremos cuando hagamos clic que se ha seleccionado la última pieza introducida. Daremos clic en **Ok**.



Seguidamente colocaremos la contrabiela en el sitio que le corresponde. Para ello en la paleta **Constraint** hacemos clic en la herramienta **Coincidence Constraint** . Movemos el cursor hasta la superficie del casquillo inferior para ver el eje discontinuo.




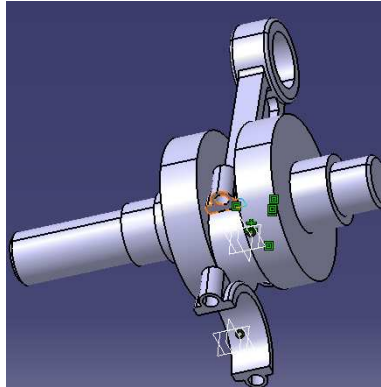
Haremos clic en dicha superficie y después iremos a la contrabiela y pondremos el cursor sobre la superficie circular interior para ver el eje que queremos hacer coincidir.



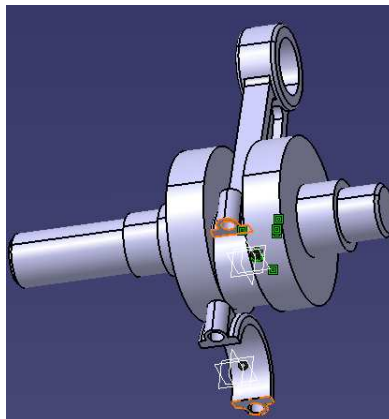
Haremos clic en la superficie interior de la contrabiela y se creará la restricción de coincidencia entre ejes.

Ahora colocaremos la contrabiela de forma correcta, deberán coincidir las caras de apoyo de la biela con las caras de apoyo de la contrabiela. Así pues, en la paleta


Constraint haremos clic en la herramienta **Contact Constraint** . Después iremos al a biela y haremos clic en la cara inferior del apoyo.

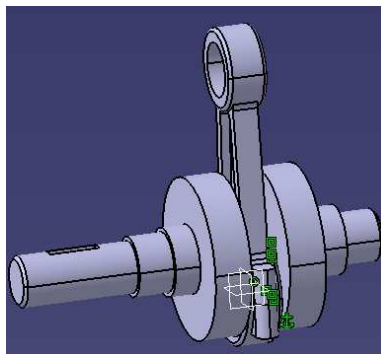


Seguidamente haremos clic en la cara de apoyo de la contrabiela que tiene que coincidir con la de la biela.



Una vez seleccionemos la cara se creará la restricción de coincidencia entre caras. Para situar la pieza actualizaremos como ya hemos visto, en la paleta **Update** hacemos clic en

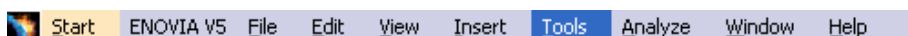
Update All . La contrabiela quedará de la siguiente forma. Haremos clic en **Guardar**



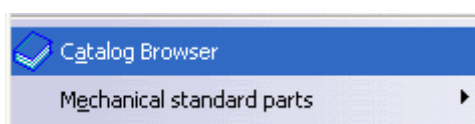
7.5 Tornillos normalizados

Para acabar con esta parte del ensamblaje deberemos colocar los tornillos de sujeción de la contrabiela a la biela. Los tornillos no los dibujaremos ya que están en el catalogo de piezas de CATIA, por tanto, solo tendremos que buscar el tornillo que necesitemos, en nuestro caso vamos a poner un tornillo de M8 x 30mm.

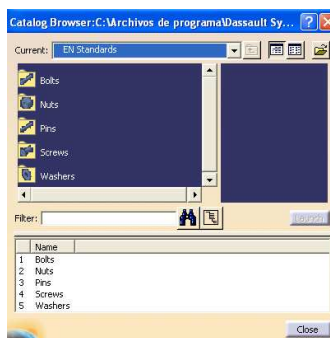
Para acceder al catalogo nos desplazamos con el cursor al menú superior a la pestaña **Tools**.



Se desplegará un menú con una serie de opciones, nosotros buscaremos **Catalog Browser**.



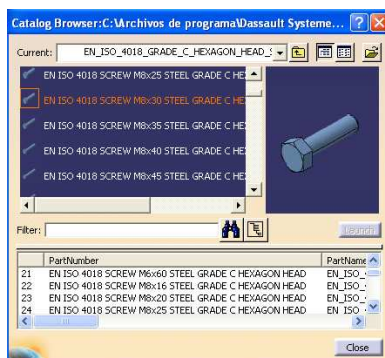
Haremos clic sobre esa opción y se abrirá en la pantalla una ventana. En ella habrá una opción llamada **Current** en la que vendrá por defecto **En Standards**. Y debajo una ventana con varias carpetas con opciones sobre el tipo de piezas.



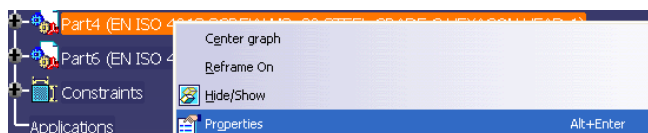
De esas carpetas haremos doble clic en la que pone **Screws**, en la que habrá varios tipos de tornillos. Aparecerá una larga lista de tipos de tornillos, con el cursor bajaremos por las diferentes opciones de tornillos hasta encontrarnos con un tipo llamado **EN_ISO_4018_GRADE_C_HEXAGON_HEAD_SCREW**. Haremos doble clic en el primer tipo de dicho nombre de los dos que salen.

Seguidamente aparecerá otra lista con tornillos de varios tipos de métrica y longitud. Bajaremos en la lista hasta buscar el tornillo de M8 x 30mm. Daremos doble clic sobre

el cuando lo encontremos, haremos clic en **Ok** de la ventana **Catalog** en la que sale el tornillo y volverá a aparecer la ventana con la lista de tornillos. Como hay dos tornillos volveremos a hacer doble clic.



Se han añadido los tornillos al árbol de operaciones, y por defecto el programa les ha dado un nombre. Estos nombres, **Part4** y **Part6** deberemos cambiarlos ya que coinciden con los Part de las piezas que hemos diseñado anteriormente y que vamos a utilizar en el mismo ensamblaje. Para cambiarlo en el árbol nos situamos en el **Part4** que hace referencia a un tornillo y damos con el botón secundario desplegando un menú de opciones. Hacemos clic en **Properties**.



Nos aparece una ventana con varias pestañas. En la primera de ellas llamada **Product** hay una opción denominada **Part Number**. En ella cambiamos el nombre del Part, ponemos por ejemplo **Part9**. Hacemos clic en **Ok**.



Repetimos la operación para el siguiente tornillo llamado **Part6**. Hacemos clic en el botón secundario sobre dicho tornillo en el árbol de operaciones.





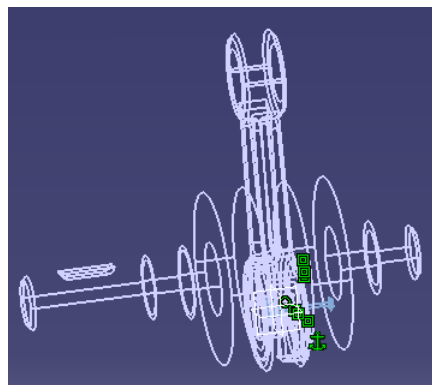
En la ventana que aparece cambiamos el nombre del Part en la opción **Part Number** de la pestaña **Product**. Ponemos **Part10** y hacemos clic en **Ok**.




Hemos introducido los tornillos, y vemos que están superpuestos por el ensamblaje. Para poder verlos vamos localizamos la paleta **View**.



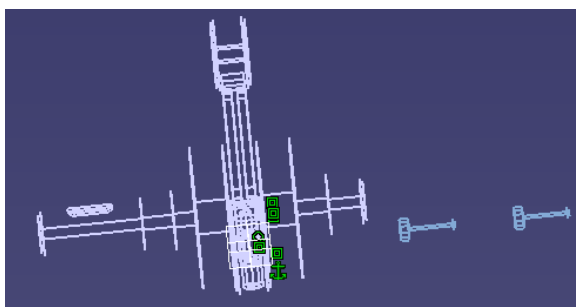
En la opción **Shading with Edges**  haremos clic en la flecha negra para desplegar el menú de opciones. En dicho Menú hacemos clic en la orden **Wireframe** . De esta forma veremos solo los vértices del conjunto y no habrá superficies sólidas.





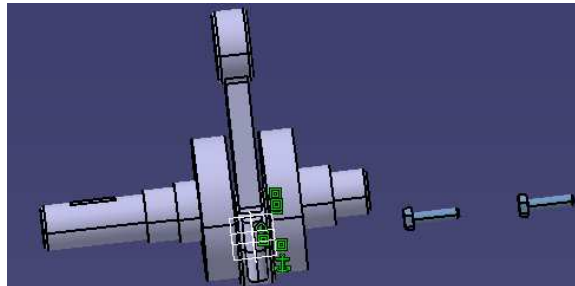
Diferenciaremos los tornillos del resto gracias a que el color de los vértices es diferente.


En la paleta **Move** haremos clic sobre la herramienta **Manipulation**  y aparecerá **Manipulation parameters** seleccionaremos el eje x.

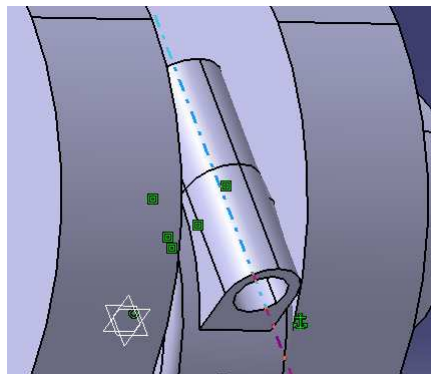
Después con el cursor haremos clic mantenido sobre un vértice del tornillo y lo moveremos hacia un lado. Seguidamente haremos lo mismo con el otro tornillo.



Una vez que los visualizamos volvemos a la paleta **View** y hacemos clic en la flecha negra debajo de la herramienta **Wireframe** . Y en el menú que aparece hacemos clic en **Shading with Edges** .

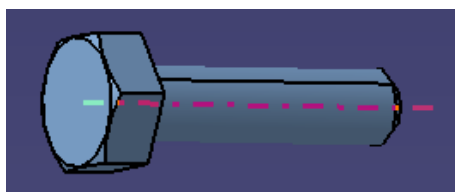


Para situar los tornillos utilizaremos primero en la paleta **Constraints** la herramienta de restricción **Coincidence Constraint** . Seguidamente con el cursor nos situamos en la superficie interna de la contrabiela donde introduciremos el tornillo, veremos que aparece un eje discontinuo.




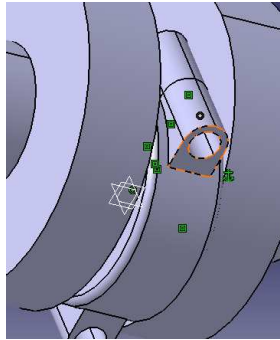
Haremos clic sobre dicha superficie interna y quedará seleccionado, en color naranja, el eje sobre el que vamos a hacer coincidir el tornillo.

A continuación iremos a uno de los dos tornillos y situaremos el cursor encima de la parte roscada de este. Aparecerá el eje discontinuo que se va a hacer coincidente.

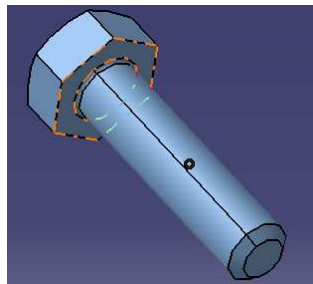



Haremos clic para crear dicha relación de coincidencia.

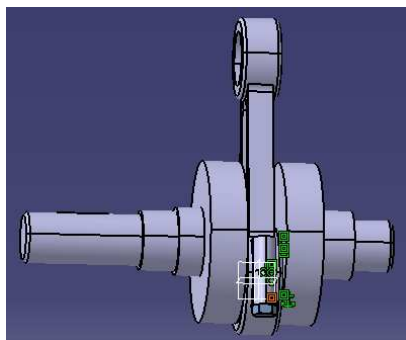
Después seleccionaremos la herramienta **Contact Constraint**  para acabar de situar el tornillo en la contrabiela. Hacemos clic en la superficie en la que la cabeza del tornillo hará tope con la contrabiela.




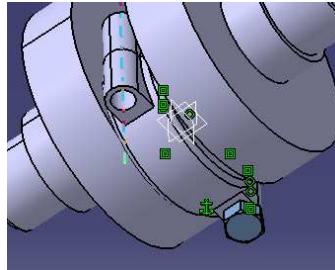
Seguidamente iremos al tornillo y haremos clic en la superficie homóloga de contacto.



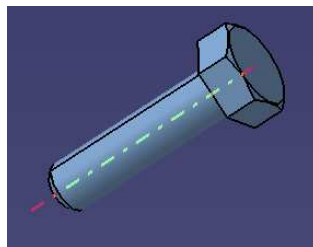
Actualizaremos el ensamblaje para situar el tornillo en su agujero correspondiente en la paleta **Update** haciendo clic en **Update All** . Ya tendremos situado un tornillo.




Para colocar el siguiente tornillo seguiremos los mismos pasos que para el anterior. Seleccionamos **Coincidence Constraint**  y después movemos el cursor hasta la superficie interior del agujero libre de la contrabiela.

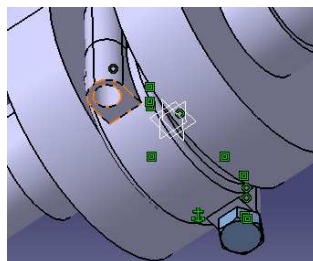


Haremos clic sobre ella para seleccionar dicho eje. A continuación iremos al tornillo y situaremos el cursor sobre la parte roscada para ver el eje discontinuo.

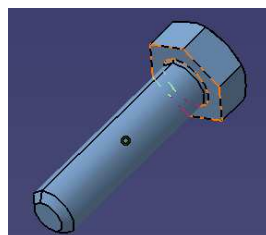




Haremos clic sobre la superficie y crearemos de esta forma la relación de coincidencia entre los ejes.

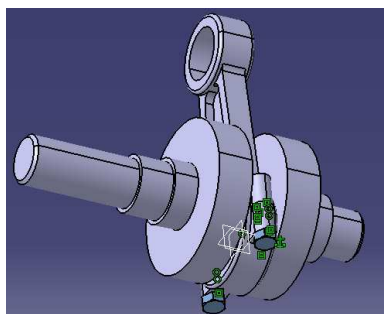
Seguidamente seleccionamos la herramienta **Contact Constraint**  y hacemos clic en la superficie en la que la cabeza del tornillo hará tope con la contrabiela.




Para acabar haremos clic en la superficie homóloga de contacto entre las piezas.



Iremos de nuevo a la paleta **Update** y haremos clic en **Update All** . De esta forma tendremos colocados los dos tornillos que amarran la contrabiela a biela. Quedarán de la siguiente forma. Haremos clic en **Guardar** .





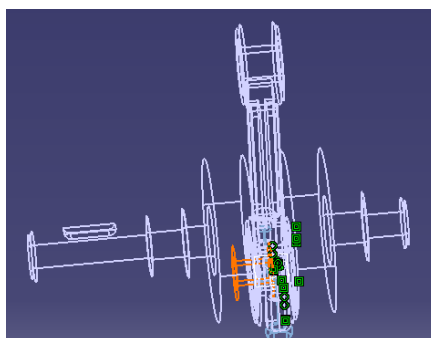
7.6 Rodamiento normalizado


El siguiente paso será colocar el rodamiento, al ser una pieza normalizada colocaremos una representación sencilla del propio rodamiento. Para ello vamos al árbol y hacemos clic en el **Product1**, a continuación en la paleta **Product Structure Tools**, hacemos clic en **Existing Component** . Seguidamente aparecerá la ventana **File Selection** donde elegiremos la representación del rodamiento y le daremos a abrir.

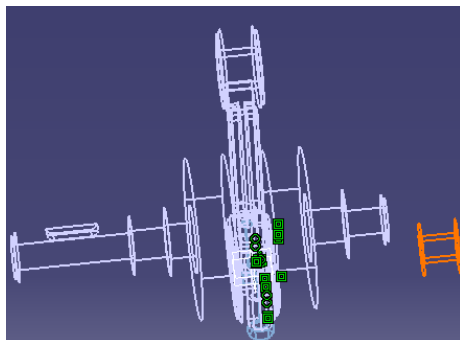
Debido a que el rodamiento introducido está oculto por el resto del ensamblaje debemos intentar visualizarlo, para ello, localizamos la paleta **View** como anteriormente.





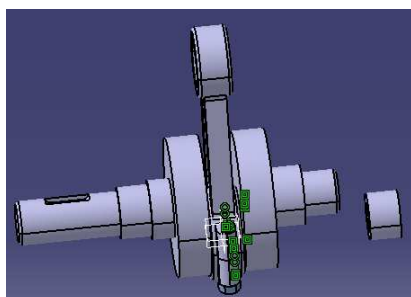
En la opción **Shading with Edges**  haremos clic en la flecha negra para desplegar el menú de opciones. En dicho Menú hacemos clic en la orden **Wireframe** . De esta forma veremos solo los vértices del conjunto y no habrá superficies sólidas. Para visualizar el dibujo del rodamiento basta con ir al árbol y ver la última pieza introducida, en nuestro caso será el **Part7**.




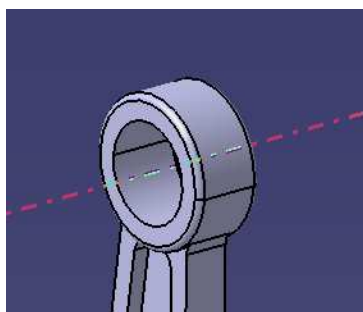
A continuación solo deberemos mover la pieza fuera del resto del ensamblaje. En la paleta **Move** haremos clic sobre la herramienta **Manipulation**  y aparecerá **Manipulation parameters** seleccionaremos el eje x. Hacemos clic mantenido sobre alguna arista del rodamiento y movemos el ratón hacia un lado para mover la pieza. Daremos a **Ok**.



Una vez que los visualizamos la pieza volvemos a la paleta **View** y hacemos clic en la flecha negra debajo de la herramienta **Wireframe** . Y en el menú que aparece hacemos clic en **Shading with Edges** .

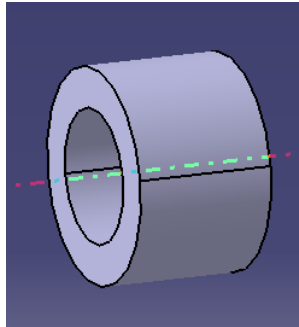



Para colocar el rodamiento dentro del apoyo superior de la biela, recurrimos como anteriormente a la paleta **Constraints**. Seleccionamos **Coincidence Constraint**  y a continuación llevamos el cursor sobre la superficie circular interna del apoyo superior del a biela, para ver el eje discontinuo que queremos que coincida con el del rodamiento.

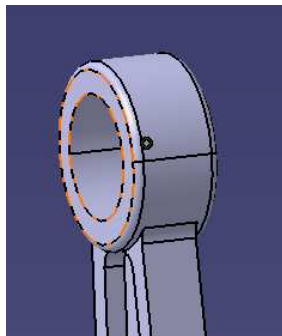


Hacemos clic sobre dicha superficie para seleccionar el eje, que se pondrá de color naranja.

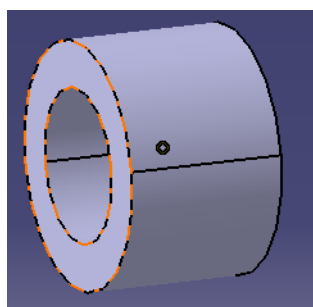
A continuación llevamos el cursor hacia el rodamiento y lo colocamos sobre la superficie circular interna de este. Aparecerá el eje discontinuo que queremos hacer coincidir.



Damos clic sobre la superficie y crearemos la restricción de coincidencia entre centros. Seguidamente deberemos colocar el rodamiento dentro del agujero del apoyo de la biela. En esta ocasión el rodamiento estará metido 1mm dentro del apoyo de la biela. Para realizar esta operación recurrimos, dentro de la paleta **Constraints**, a la orden **Offset Constraint** . Nos servirá para poner una distancia ente dos caras paralelas. Una vez seleccionada la herramienta hacemos clic en una cara exterior de la biela.

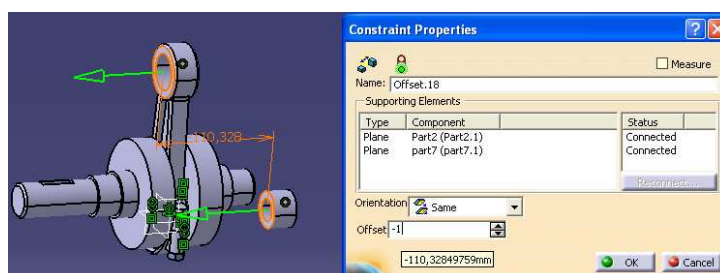



Seguidamente vamos al rodamiento y haremos clic en la cara homóloga en la que queremos poner distancia.

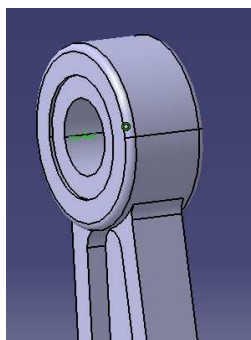


Nos aparecerá una cota entre las caras seleccionadas y también una ventana llamada **Constraints Properties**. En dicha ventana en la parte inferior encontraremos una opción llamada **Offset** en la que podremos poner la distancia a la que queremos que estén dichas caras.


En este caso y debido a que el rodamiento estará dentro del hueco de la biela, pondremos en dicha opción una cota de -1mm, ya que la dirección a la que queremos colocar el rodamiento es el lado negativo. Se cambiará el valor de la cota entre caras.





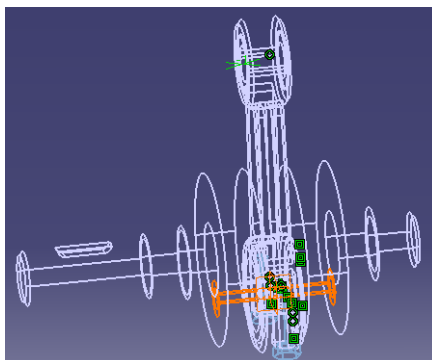
Para acabar de utilizar la herramienta daremos a **Ok**. Los cambios no habrán surtido efecto, así que como en el resto de operaciones debemos actualizar el ensamblaje, para ello en la paleta **Update** y haremos clic en **Update All** . Quedará de la siguiente forma.




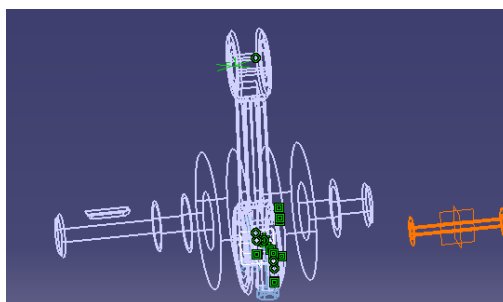
7.7 Bulón



La siguiente pieza que vamos a colocar será el bulón, esta irá colocada dentro del agujero del rodamiento. Volvemos al árbol y hacemos clic sobre el **Product1**. Seguidamente vamos a la paleta **Product Structure Tools** y hacemos clic en **Existing Component** . Después aparecerá la ventana **File Selection** donde elegiremos el bulón y le daremos a abrir.

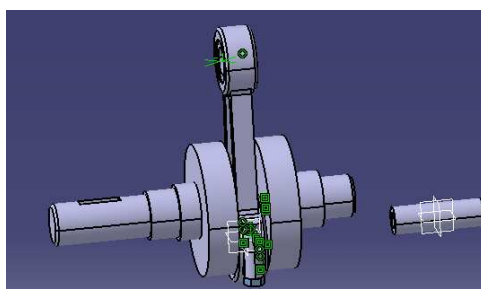
Como nos ha pasado anteriormente no vemos donde se ha colocado el bulón ya que lo tapa el ensamblaje. Procederemos de la misma forma que antes. Localizamos la paleta **View** y en la opción **Shading with Edges**  haremos clic en la flecha negra para desplegar el menú de opciones. En dicho Menú hacemos clic en la orden **Wireframe** . Veremos el bulón haciendo clic en el árbol sobre la última pieza, en nuestro caso **Part6**.




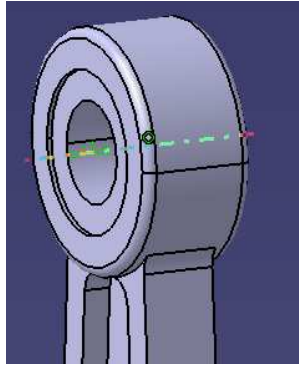
Para desplazar la pieza fuera del conjunto, en la paleta **Move** haremos clic sobre la herramienta **Manipulation**  y aparecerá la ventana **Manipulation parameters** en la que seleccionaremos el eje x. Haremos un clic mantenido sobre el bulón y desplazaremos la pieza hacia fuera del conjunto.



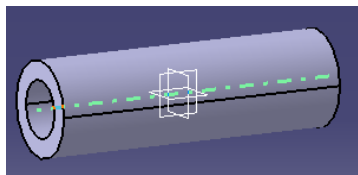
Una vez que los visualizamos la pieza volvemos a la paleta **View** y hacemos clic en la flecha negra debajo de la herramienta **Wireframe** . Y en el menú que aparece hacemos clic en **Shading with Edges** .




Ahora colocaremos la pieza en el agujero del rodamiento. Para ello, iremos a la paleta **Constraints** y haremos clic en **Coincidence Constraint**  para crear una relación entre los ejes del rodamiento y el bulón. Moveremos el cursor hasta la superficie circular interna del rodamiento, y aparecerá el eje discontinuo.

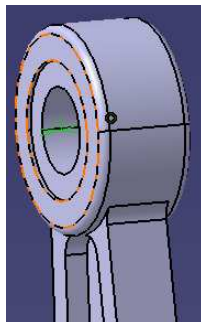


Haremos clic sobre la superficie para seleccionar el eje, se pondrá de color naranja. Seguidamente iremos con el cursor y lo colocaremos sobre la superficie circular del bulón, veremos el eje discontinuo que queremos hacer coincidente.

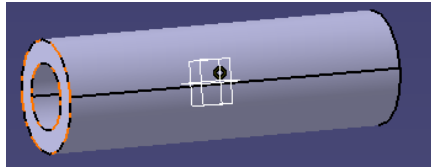


Haremos clic sobre dicha superficie y se creará la relación de coincidencia entre los ejes de las piezas.

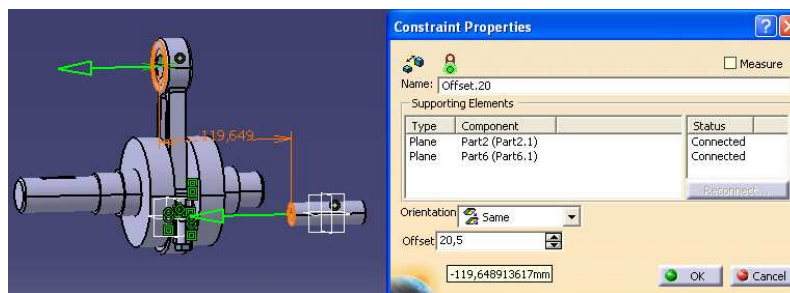
El siguiente paso será colocar el bulón dentro del agujero del rodamiento y además para centrarlo pondremos una distancia entre la cara lateral del bulón y la cara lateral de la biela. Para ello volveremos a utilizar la herramienta **Offset Constraint**  situada en la paleta **Constraints**. Una vez seleccionada la herramienta haremos clic en una cara superior de la biela.




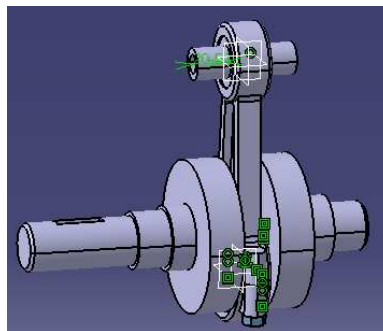
Después iremos al bulón y haremos clic en la cara lateral sobre la que pondremos la distancia.




Una vez seleccionadas aparecerá la ventana **Constraint Properties** en la que podremos cambiar la cota que aparece entre las dos caras. En este caso la cota que pondremos será positiva ya que el bulón sobresale de la biela. En el **Offset** en este caso la cota será 20,5mm. Daremos a **Ok** para terminar.




Por último actualizaremos el ensamblaje para ver la pieza colocada en su sitio. En la paleta **Update** haremos clic en **Update All** . Quedará de la siguiente forma.

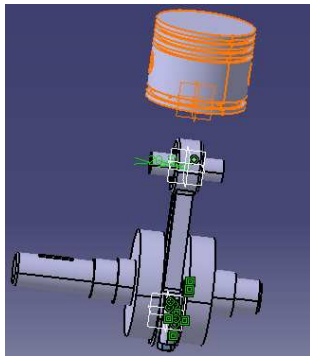



7.8 Pistón

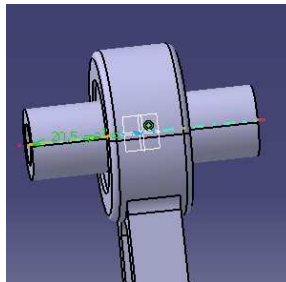
La siguiente pieza a ensamblar será el pistón. Este irá colocado sobre el bulón, introducido en el eje que atraviesa el pistón. Para añadir la pieza al ensamblaje, iremos al árbol de operaciones y haremos clic sobre el **Product1**. Después iremos a la paleta **Product Structure Tools** y hacemos clic en **Existing Component** . Aparecerá la ventana **File Selection** donde elegiremos el pistón y le daremos a abrir.

El pistón saldrá superpuesto con el resto del ensamblaje y, por lo tanto, habrá que moverlo como con las anteriores piezas. En la paleta **Move** haremos clic sobre la herramienta **Manipulation**  y aparecerá la ventana **Manipulation parameters** en la que seleccionaremos en este caso el eje z.

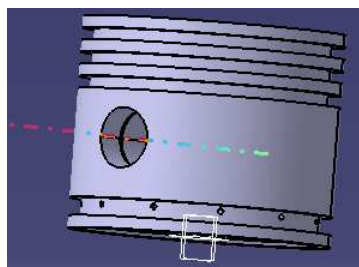
Haremos un clic mantenido sobre el pistón y desplazaremos la pieza hacia fuera del conjunto. Haremos clic en **Ok**.




A continuación colocaremos el pistón en el sitio correspondiente y para ello en la paleta **Constraint** haremos clic en la herramienta **Coincidence Constraint** , la cual utilizaremos para hacer coincidir en eje del bulón con el del agujero del pistón. Con el cursor nos movemos hasta la superficie exterior del bulón y nos aparece el eje discontinuo.

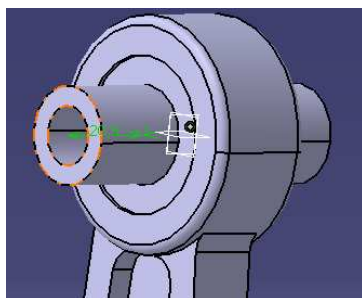


Hacemos clic sobre la superficie de forma que seleccionamos el eje. Seguidamente dirigimos el cursor hacia el pistón y lo colocamos sobre la superficie circular interna del agujero de este. Veremos el eje discontinuo que queremos hacer coincidir.

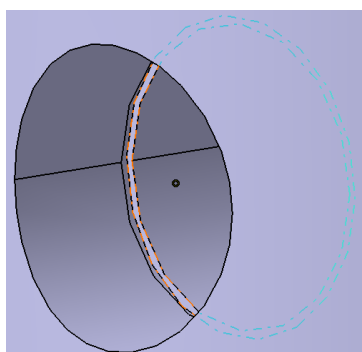


Al hacer clic sobre la superficie circular se crea la relación de coincidencia de ejes entre bulón y pistón. La última restricción para terminar de colocar el pistón será **Offset Constraint** , la utilizaremos para que la cara lateral del pistón coincida con una cara lateral del hueco del anillo circlip.

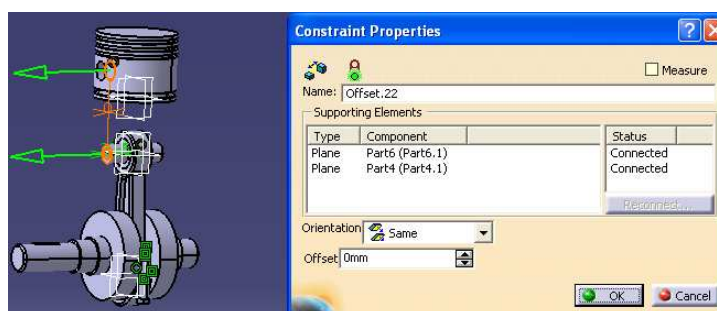
Hacemos clic en la cara lateral del bulón.




Seguidamente haremos clic en la cara lateral interior del hueco del anillo circlip.

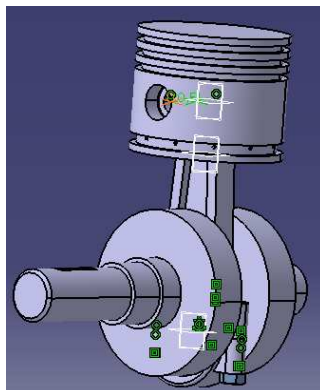


Se creará una cota con la distancia entre ambas caras y a la vez aparecerá la ventana **Constraint Properties**. Debido a la posición inicial que toma el pistón al introducirlo la primera vez, la cota tendrá un valor de 0mm. Como ambas caras deben estar en el mismo plano la cota que sale por defecto la dejaremos tal cual, daremos clic en **Ok**.




Para actualizar la posición del pitón vamos a la paleta **Update** haremos clic en **Update All** .



El ensamblaje quedará de la siguiente forma.




7.9 Anillos circlip normalizados

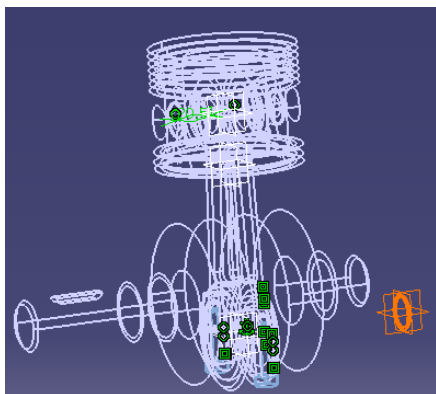
Para acabar el ensamblaje solo quedará introducir los anillos circlip para retener el bulón en el agujero y fijar el pistón. Estas piezas serán normalizadas, así que introduciremos en el conjunto una representación de dichos anillos circlip.


Hacemos clic sobre el **Product1** situado en el árbol de las piezas y seguidamente iremos a la paleta **Product Structure Tools** y hacemos clic en **Existing Component** . Aparecerá la ventana **File Selection** donde elegiremos el circlip y le daremos a abrir.


El circlip no será visible por estar superpuesto el ensamblaje sobre este, así que localizamos la paleta **View** como anteriormente y en la opción **Shading with Edges**  haremos clic en la flecha negra para desplegar el menú de opciones. En dicho Menú hacemos clic en la orden **Wireframe** . De esta forma veremos solo los vértices del conjunto y no habrá superficies sólidas. Para visualizar el dibujo del circlip basta con ir al árbol y hacer clic en la última pieza introducida, en nuestro caso será el **Part8**.

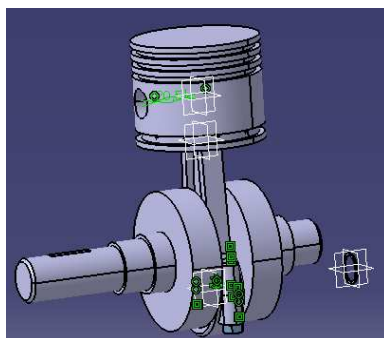
Una vez visualizado iremos a la paleta **Move** y haremos clic sobre la herramienta **Manipulation** , aparecerá la ventana **Manipulation parameters** en la que seleccionaremos en este caso el eje x.


Haremos un clic mantenido sobre algún vértice el circlip y lo arrastraremos fuera del ensamblaje. Haremos clic en **Ok**.

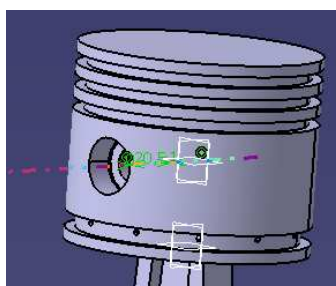


Como ya se ve la pieza volvemos a la paleta **View** y hacemos clic en la flecha negra debajo de la herramienta **Wireframe** .

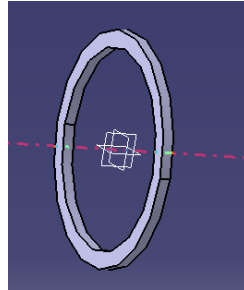
Y en el menú que aparece hacemos clic en **Shading with Edges** .




Colocaremos el circlip utilizando primero en la paleta **Constraint** la orden **Coincidence Constraint** . Una vez seleccionada iremos a la superficie interior del agujero del pistón con el cursor y lo pondremos sobre ella. Aparecerá el eje discontinuo.



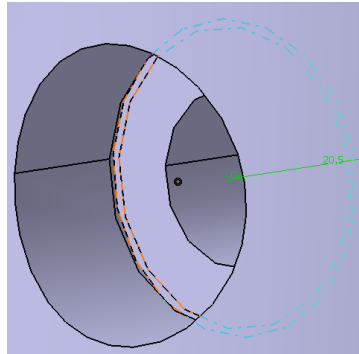
Haremos clic sobre dicha superficie circular y seguidamente iremos al anillo circlip y pondremos el cursor sobre la superficie interior del circlip.



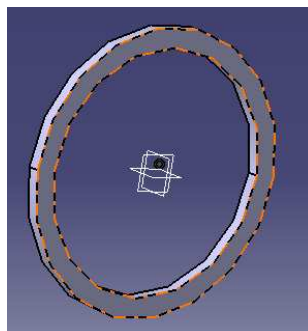
Haremos clic sobre la superficie interior del circlip y se creará la relación de coincidencia entre el eje del pistón y el del circlip.

A continuación seleccionaremos la herramienta **Contact Constraint**  para crear una restricción entre una cara lateral del circlip y la cara interior del hueco donde va alojado.

Nos movemos con el cursor hasta la cara interior del hueco del anillo circlip.



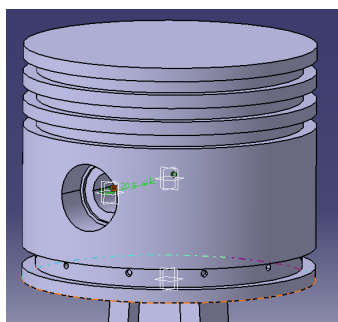
La seleccionamos y después vamos al circlip y hacemos clic sobre una cara lateral de este.





Una vez seleccionado se creará la relación de coincidencia entre las caras. Para ver la nueva situación del circlip haremos clic en la paleta **Update** haremos clic en **Update All**





. El ensamblaje quedará de la siguiente forma.

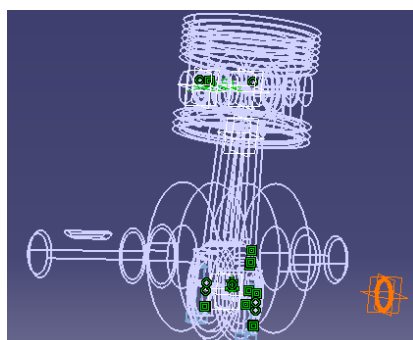




El anillo circlip del otro lado del bulón se pondrá de la misma forma que el circlip anterior. Nos situamos en el árbol de las piezas y hacemos clic en el **Product1**, seguidamente vamos a la paleta **Product Structure Tools** y hacemos clic en **Existing Component** . Aparecerá la ventana **File Selection** donde elegiremos el circlip y le daremos a abrir.

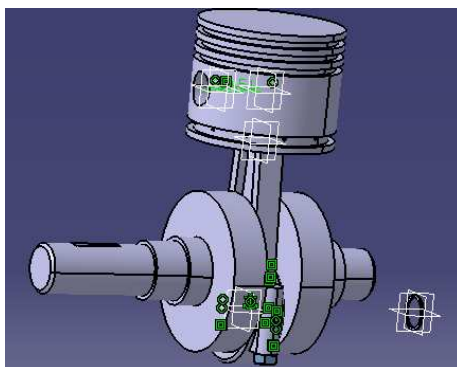
El circlip no será visible por estar tapado por las piezas del ensamblaje, así que localizamos la paleta **View** como anteriormente y en la opción **Shading with Edges**  haremos clic en la flecha negra para desplegar el menú de opciones.


En dicho Menú hacemos clic en la orden **Wireframe** . De esta forma veremos solo los vértices del conjunto. Para visualizar el dibujo del circlip basta con ir al árbol y hacer clic en la última pieza introducida, en nuestro caso será el segundo **Part8**.

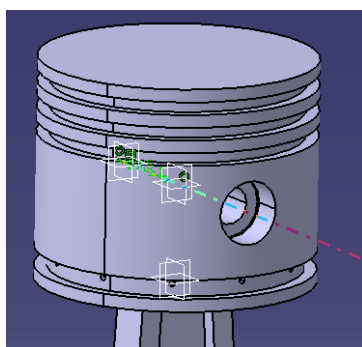
Una vez visualizado iremos a la paleta **Move** y haremos clic sobre la herramienta **Manipulation** , aparecerá la ventana **Manipulation parameters** en la que seleccionaremos el eje x. Haremos un clic mantenido sobre algún vértice el circlip y lo arrastraremos fuera del ensamblaje. Haremos clic en **Ok**.



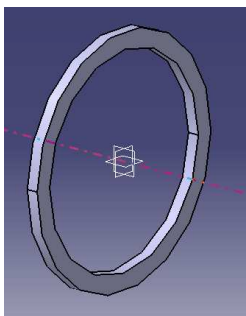
Como ya se ve la pieza volvemos a la paleta **View** y hacemos clic en la flecha negra debajo de la herramienta **Wireframe** . Y en el menú que aparece hacemos clic en **Shading with Edges** .




Colocaremos el circlip utilizando primero en la paleta **Constraint** la orden **Coincidence Constraint** . Una vez seleccionada iremos a la superficie interior del agujero del pistón del lado donde no hay circlip con el cursor y lo pondremos sobre ella. Aparecerá el eje discontinuo.



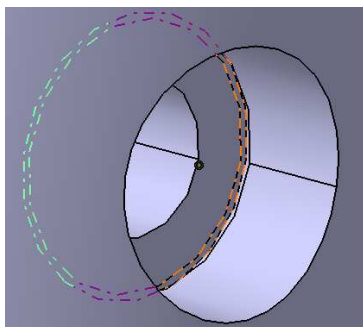
Haremos clic sobre la superficie circular y después iremos al anillo circlip y pondremos el cursor sobre la superficie interior del este.



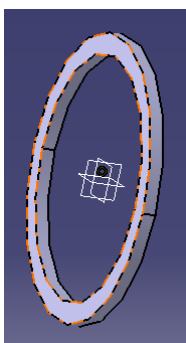
Damos clic sobre la superficie interior del circlip y se creará la relación de coincidencia entre el eje del pistón y el del circlip.


A continuación seleccionaremos la herramienta **Contact Constraint**  para crear la restricción entre una cara lateral del circlip y la cara interior del hueco donde va alojado.

Nos movemos con el cursor hasta la cara interior del hueco del anillo circlip.

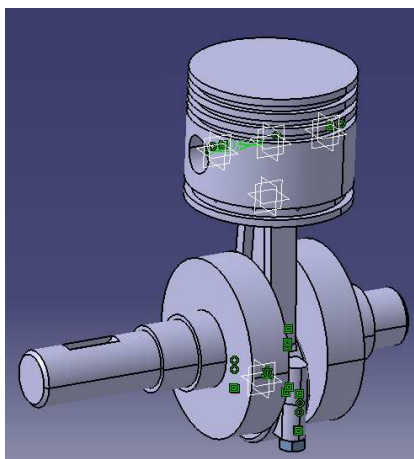


La seleccionamos y después vamos al circlip y hacemos clic sobre una cara lateral de este.



Una vez seleccionado se creará la relación de coincidencia entre las caras. Para visualizar la nueva situación del circlip haremos clic en la paleta **Update** haremos clic en **Update All** .

Con esta última operación ya habremos acabado de montar todo el ensamblaje con las piezas. Quedará de la siguiente forma.



5- Manual de NASTRAN/PATRAN

El siguiente paso en el proceso de rediseño de las piezas del motor de moto será calcularlas mediante un programa de elementos finitos, en este caso el NASTRAN/PATRAN. Se realizará un manual con todos los pasos para calcular la biela ya que se ha realizado un AMFE (en el anexo) y se ha determinado que es la pieza que más sufre en nuestro motor, y por tanto, la más importante a la hora de calcularla.

Las piezas diseñadas anteriormente en CATIA tienen una extensión de archivo **.catpart**, este tipo de extensión no es la correcta para importarlas directamente al PATRAN ya que este requiere de otro tipo de extensiones que puedan funcionar. Para ello podemos guardar las piezas de CATIA con otro tipo de extensión como por ejemplo **.stp** o **.igs** que si son válidas para el PATRAN.

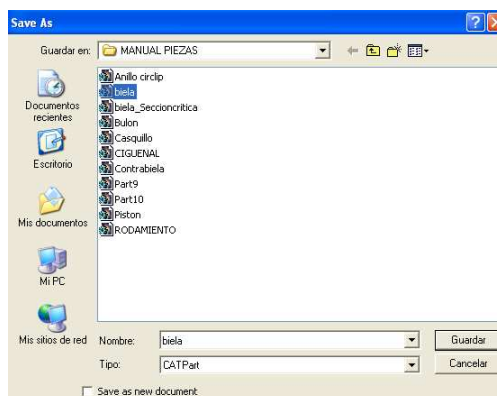
Para ello abrimos en el programa CATIA, la biela. En la barra de herramientas superior seleccionamos **File**.



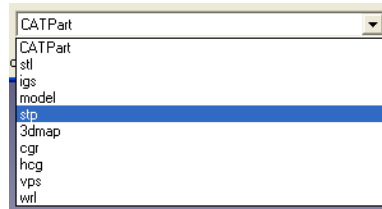
Hacemos clic sobre dicha opción y se desplegará un menú con varias opciones, de todas ellas seleccionamos **Save As**.



Aparecerá una ventana en la que podremos poner un nuevo nombre a la pieza, y también podremos cambiar el tipo de extensión del archivo. Deberemos haber creado antes una carpeta para guardar los nuevos archivos de las piezas.

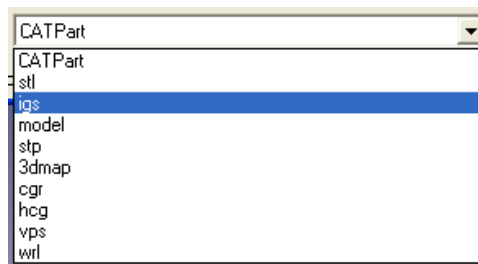


Hacemos clic sobre la flecha que aparece en la casilla de la opción **Tipo**, y se desplegará un menú en el que aparecerán diferentes extensiones que se le pueden asignar al archivo que queremos guardar. En este caso seleccionaremos la extensión **.stp**.



Una vez seleccionado, buscaremos la carpeta en la que guardar el archivo, por ejemplo piezas en **stp**, y daremos clic en guardar dejando por defecto el mismo nombre anteriormente asignado.

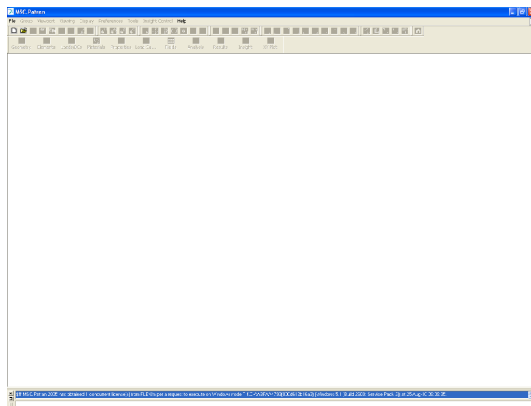
Seguidamente seguiremos los pasos anteriores para volver a guardar la biela con otra extensión, en el siguiente caso será **.igs**. Seleccionamos la opción **File** y seguidamente hacemos clic en **Save As**. En la ventana que aparece ya vista hacemos clic en la opción **Tipo**, y seleccionamos la extensión **igs**.



Seleccionamos la carpeta en la que guardaremos este tipo de archivos, por ejemplo piezas en igs, y para finalizar hacemos clic en guardar.

Estas operaciones deberemos realizarlas para las tres piezas a analizar, pistón, biela y cigüeñal, para que después con el PATRAN podamos importarnos directamente y con el formato adecuado.

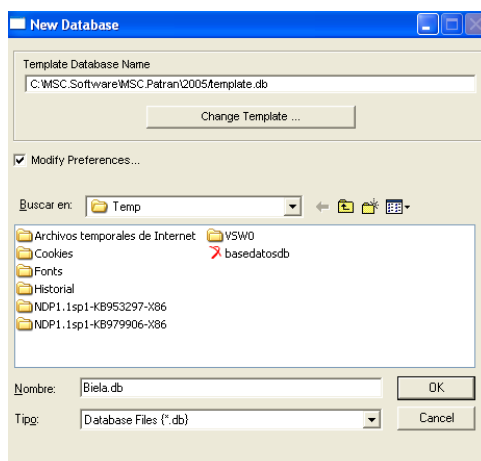
A continuación empezaremos a realizar el manual del NASTRAN/PATRAN para el cálculo de la biela. Lo primero que debemos hacer es abrir el programa PATRAN. Nos aparecerá la siguiente ventana.



Una vez abierto, crearemos una base de datos sobre la que importaremos la pieza y realizaremos todas las operaciones. Hacemos clic en la orden **File New** en la parte superior izquierda de la pantalla.

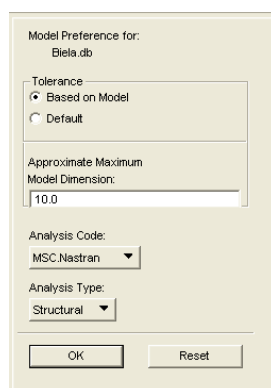


Aparecerá una ventana llamada **New Database** en la que podemos crear dicha base de datos. Serán archivos de extensión **.db**. En la casilla donde pone **Nombre** ponemos **Biela**. Seguidamente damos a **Ok**.

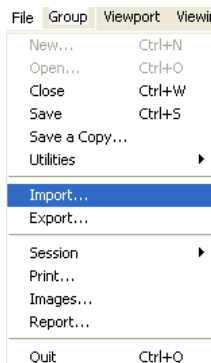


A continuación nos aparecerá la ventana de trabajo y las paletas de herramientas en las que aparecen las distintas operaciones que se pueden realizar. En la parte derecha de la pantalla irán apareciendo los distintos menús de las herramientas seleccionadas.

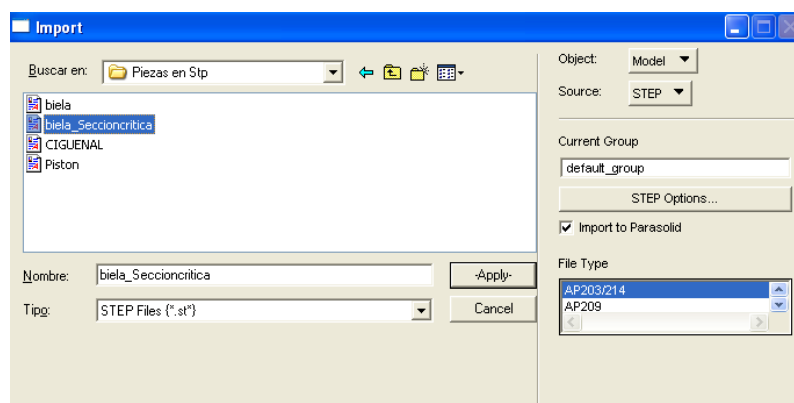
La primera vez y por defecto aparece un menú llamado **New Model Preference** en el deberemos seleccionar varios parámetros. En el apartado **Tolerance** seleccionamos la opción **Base don Model**, seguidamente iremos a **Analysis Code** y seleccionaremos el módulo con el que queremos calcular la pieza, **MSC.Nastran** y para acabar en **Analysis Type** seleccionamos el tipo de análisis que será **Structural**. Seguidamente le damos a **Ok**.



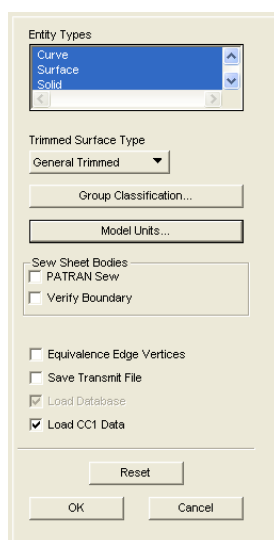
El siguiente paso será introducir la biela al programa, para ello vamos a la paleta superior y hacemos clic en la orden **File** en la que se abrirá un menú. Seleccionamos la opción **Import**.



Nos aparecerá la ventana de la herramienta **Import** en la que seleccionaremos la pieza a importar y el formato. Iremos al buscador para localizar la biela que hemos guardado anteriormente con el formato **.stp**. Parecerá que la carpeta está vacía pero lo que debemos hacer es poner el formato correcto, para ello, vamos a la opción **Source** y hacemos clic en la flecha negra para desplegar el menú, en el que buscaremos la opción **STEP** y hacemos clic en ella. Aparecerán las piezas guardadas y haremos clic en la biela. (La biela utilizada por mi ha sido recortada hasta la sección crítica).

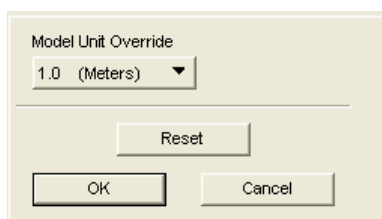


Otra operación importante será cambiar las unidades del sólido ya que está dibujado en milímetros y para realizar los cálculos hay que pasarlas al Sistema Internacional, en metros. Hacemos clic en esta misma ventana en la opción **STEP options**, y nos aparecerá un menú a la derecha de la pantalla denominado **Import Options**.

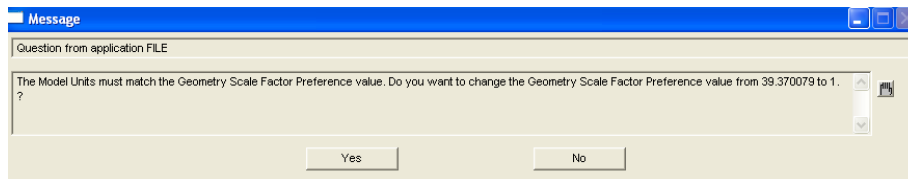


Seguidamente iremos a la pestaña **Model Units** en la que cambiaremos las unidades de la pieza. 

Aparecerá otro menú en el que haremos clic en la flecha negra de la pestaña **Model Unit Override** y haremos clic en la opción **1.0 (Meters)**. Seguidamente hacemos clic en **Ok**.




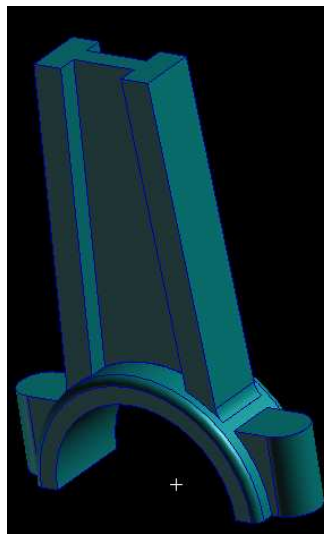
Es probable que para confirmar el cambio de unidades aparezca una ventana en la que deberemos hacer clic en **Yes**.



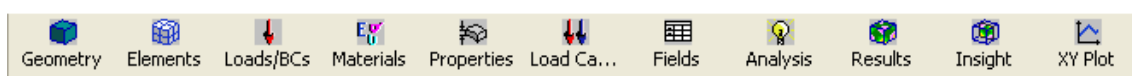
Para acabar hacemos clic en **Ok** en el menú **Model Units** y en la ventana de importar las piezas hacemos clic en **Apply**.


Aparecerá en la pantalla al finalizar el proceso una ventana de información con el tipo de geometría importada, la carpeta desde la que se ha importado, la fecha, la hora etc. Haremos clic en **Ok**.

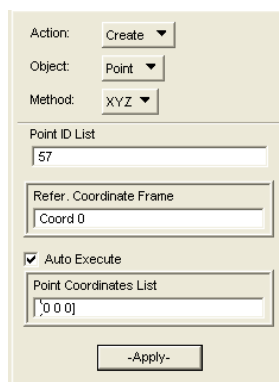
Es probable que aparezca la pieza en forma de mallado, para cambiar la vista y ponerle superficies vamos a las herramientas de la parte superior y buscamos la opción **Smooth Shaded** 



En este programa las herramientas más importantes con las que vamos a trabajar se encuentran en la parte superior de la pantalla de trabajo y sus menús aparecerán a la derecha de dicha pantalla.



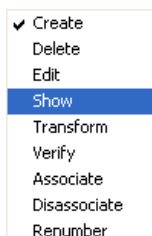
La primera herramienta que seleccionaremos será **Geometry** . En ella aparecerá un menú en el que podremos crear, editar, borrar, etc. diferentes puntos, curvas, planos, superficies, etc. para conseguir una geometría deseada. En este caso y como hemos creado nuestra pieza con el CATIA y después la hemos importado no será necesario crear ninguna geometría.



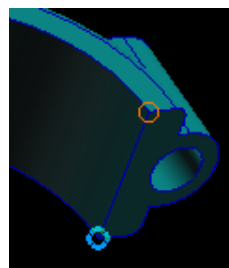
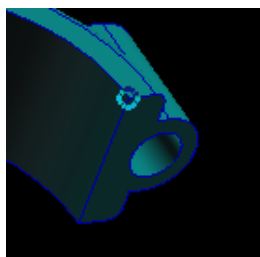
Geometry tool dialog box showing settings for creating a point:

- Action: Create
- Object: Point
- Method: XYZ
- Point ID List: 57
- Refer. Coordinate Frame: Coord 0
- ☒ Auto Execute
- Point Coordinates List: [0 0 0]
- Apply-

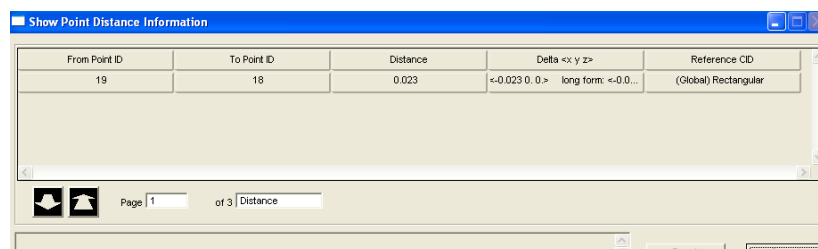
Una opción interesante es verificar que nuestra pieza tiene sus dimensiones en las unidades adecuadas, para ello, hacemos clic en la flecha negra de la pestaña **Action** y se desplegará un menú de opciones en el que elegiremos **Show**.




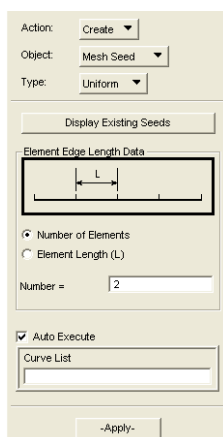
Con esta opción podremos medir distancias entre puntos del sólido y verificar que las distancias son correctas. Por ejemplo en nuestra biela podemos medir la anchura de esta, en el CATIA le dimos una anchura de 23mm, si todo esta correctamente debería medir utilizando esta herramienta 0,023m. Una vez seleccionado **Show** vamos con el cursor a una esquina de la parte inferior de la biela y hacemos clic, se marcará el punto con un círculo. Seguidamente vamos a la esquina opuesta hacemos clic.



Una vez seleccionados los dos puntos en la parte inferior de la pantalla aparecerá un cuadro de información en el que podremos verificar el valor de la medida tomada. Nos fijamos que en el cuadro **Distance** el valor de la medida tomada es 0,023m como habíamos previsto. Para quitar el cuadro damos en **Cancelar**.



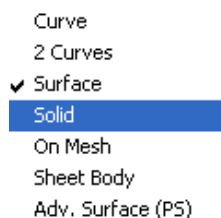
El siguiente paso después de tener creada la geometría, será crear los elementos finitos de en la pieza. Para ello, hacemos clic en la siguiente herramienta **Elements** , con la cual podremos dividir la biela en diferentes elementos de estudio. Nos aparecerá el menú en la parte derecha de la pantalla, con el que podremos crear la malla de elementos.



En la opción **Action** dejamos por defecto **Create** ya que queremos crear un mallado, en la siguiente pestaña **Object** hacemos clic en la flecha negra de la pestaña para desplegar el menú, aparecen varias opciones y hacemos clic en **Mesh**.



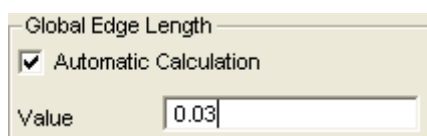
Cambiará el tipo de menú que había antes y en la siguiente pestaña **Type**, podremos seleccionar el tipo de elementos sobre los que queremos hacer la malla, hacemos clic sobre ella y en este caso seleccionamos la opción **Solid** ya que queremos seleccionarlo entero.



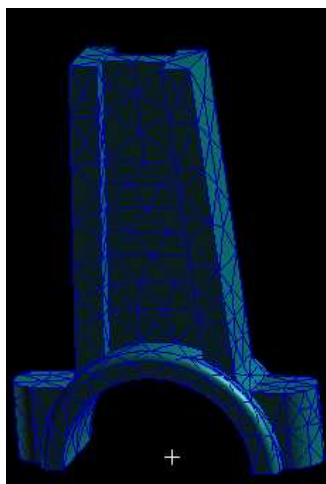
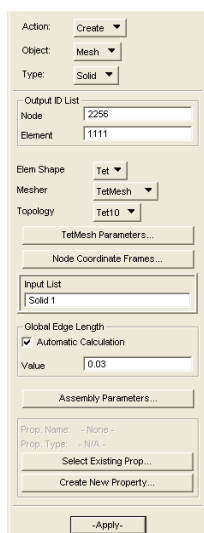
El resto del menú volverá a cambiar, dejaremos todas las opciones por defecto y en la casilla **Input List** nos aseguraremos que esta seleccionada haciendo clic sobre la casilla blanca, seguidamente vamos con el cursor a la pieza y hacemos clic en cualquier parte de ella para seleccionar el sólido. En dicha casilla aparecerá el elemento seleccionado **Solid1**.




La siguiente opción que aparece será **Global Edge Length**, en esta opción podremos dar un valor numérico al tamaño de cada elemento de la malla, tras varias pruebas hemos dado un valor a cada elemento de 0,03.

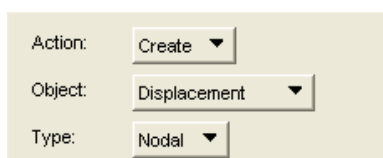


Seguidamente hacemos clic en **Apply** y se nos creará la malla de elementos finitos.

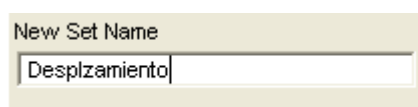



El siguiente paso será colocar las restricciones a la pieza para restringir sus movimientos y después aplicarle la fuerza que le ejerce el motor. Para ellos hacemos clic en la

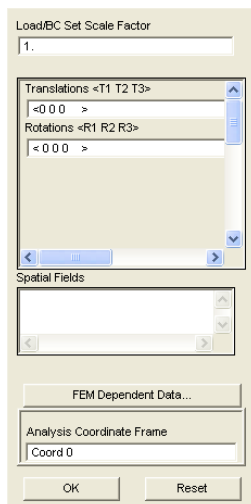
herramienta **Loads/BCs**  y nos aparecerá en la parte derecha de la pantalla un nuevo menú. La primera opción **Action** la dejamos por defecto en **Create**, en la siguiente **Object** también dejamos la opción que sale por defecto llamada **Displacement**, que hace referencia a la restricción de los movimientos de la pieza.



 A screenshot of the 'Loads/BCs' menu. It contains three dropdown menus: 'Action' set to 'Create', 'Object' set to 'Displacement', and 'Type' set to 'Nodal'.

El siguiente paso es crear las restricciones. Para ello en la parte de abajo del menú tenemos la casilla **New Set Namen** en donde pondremos, por ejemplo, **Desplazamiento1**.

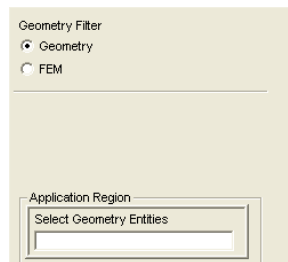

 A screenshot of the 'New Set Name' dialog box. The text 'Desplazamiento1' is entered into the input field.

Seguidamente iremos a la herramienta **Input Data**  en la que haremos clic y se abrirá un nuevo menú para establecer los movimientos y rotaciones que queremos que tenga la pieza según los ejes x, y, z. En dicho menú rellenaremos las dos opciones **Translations** y **Rotations** dentro de los paréntesis de la siguiente forma $\langle 0 \ 0 \ 0 \rangle$ tres ceros separados por un espacio, querrá decir que obviamente no queremos que nuestra pieza se mueva, ni gire en ningún sentido. Hacemos clic en **Ok**.


 A screenshot of the 'Load/BC Set Scale Factor' dialog box. The 'Load/BC Set Scale Factor' is set to 1. The 'Translations <T1 T2 T3>' field contains '<0 0 0 >'. The 'Rotations <R1 R2 R3>' field contains '<0 0 0 >'. The 'Spatial Fields' section is empty. The 'FEM Dependent Data...' button is visible. The 'Analysis Coordinate Frame' is set to 'Coord 0'. The 'OK' and 'Reset' buttons are at the bottom.


Después habrá que indicar al programa en que zonas de la pieza queremos que se apliquen las restricciones de movimiento, para ello, vamos a la siguiente herramienta **Select Application Region**  en la que hacemos clic e iremos directamente a un nuevo menú.

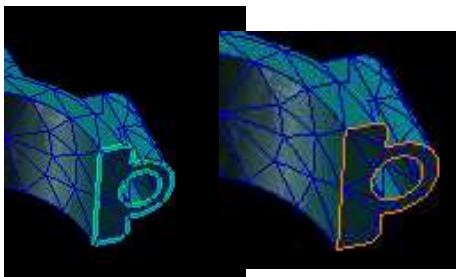
Podremos elegir entre seleccionar la geometría mediante **Geometry** o seleccionamos elementos finitos mediante **FEM**. Nosotros y para mas sencillez seleccionamos la opción **Geometry**.



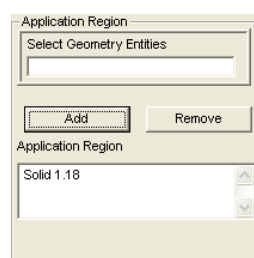
Seguidamente vamos a la casilla **Select Geometry Entities** para seleccionas las entidades que correspondan. De forma sencilla vamos a la paleta **Picking Filters** que el programa carga por defecto.



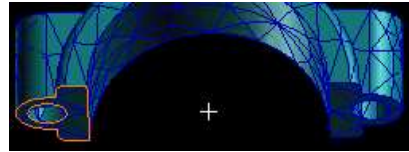
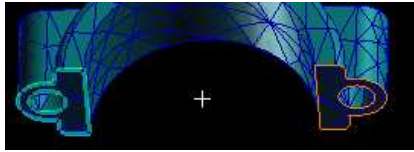
Dentro de esta paleta seleccionamos la opción **Surface or Face**  (no confundir con **Geometry Entity** ya que tienen el mismo ícono), hacemos clic y seguidamente seleccionamos la cara inferior de la biela.



Hacemos clic en el mismo cuadro **Select Geometry Entities** en la opción **Add** para añadir la superficie.

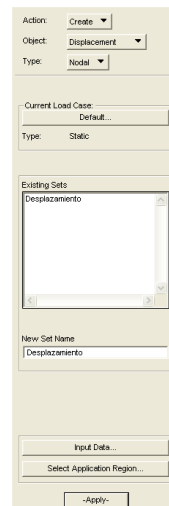
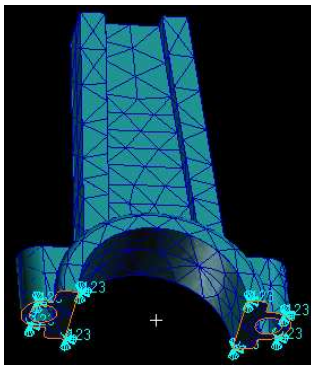


Una vez seleccionada una de las caras procederemos a seleccionar la siguiente, vamos con el cursor a la superficie sin seleccionar y hacemos clic sobre ella.




Añadimos dicha superficie seleccionada mediante la opción anterior **Add** y seguidamente hacemos clic en **Ok**.

Para terminar la restricción de desplazamientos en el menú principal hacemos clic en **Apply**, quedando de la siguiente forma.

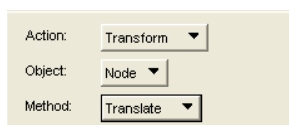


El siguiente paso será crear la fuerza que se le ejerce a la sección crítica de la biela. Pero antes de nada, hay que aclarar que nuestra fuerza repartida en la superficie es de 30462 N. Esta superficie esta dividida por los elementos creados anteriormente y a su vez contiene nodos. Si la aplicamos la fuerza con el programa directamente sobre la superficie, PATRAN nos aplicará los 30462 N en cada uno de los nodos y por tanto la fuerza se multiplicaría, dando lugar a que la pieza se rompa.

Para evitar esto, lo que haremos será contar el número de nodos que contiene la superficie crítica y repartir la fuerza que tenemos entre cada uno de ellos. Para ello

volvemos a la herramienta ya vista **Elements** . Vamos a la pestaña del menú principal **Action** en donde se desplegarán una serie de opciones, de todas ellas seleccionamos **Transform**.

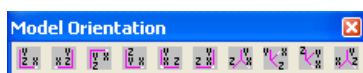
La siguiente pestaña **Object** la dejamos por defecto en la opción **Nodes**, y la pestaña **Method** también por defecto en la opción **Translate**.



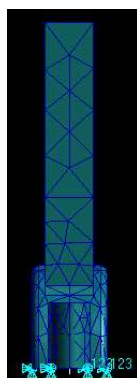
Seguidamente vamos a la casilla en blanco denominada **Node List** en la que hacemos un clic, y será donde guardemos los nodos seleccionados.



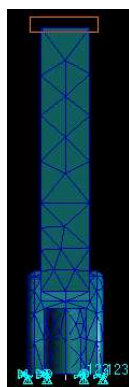
Para seleccionarlos podemos dirigirnos a la parte superior de la pantalla y buscar una paleta de herramientas llamada **Model Orientation**.



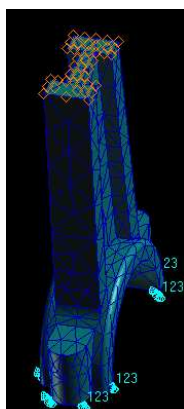
Y en ella seleccionamos **Bottom View**, de esta forma la pieza se nos colocará en una posición buena para poder seleccionar los nodos correctamente.



Seguidamente vamos con el cursor a la parte superior de la biela y hacemos clic mantenido en una de las esquinas y se abrirá un recuadro de selección que se extenderá hasta el otro lado y cogiendo la parte superior de la sección crítica.





Una vez creamos el recuadro seleccionaremos los nodos, y quedarán de la siguiente forma.



Para finalizar hacemos clic en **Apply**. Nos deberemos fijar en la parte inferior de la pantalla en la casilla de información. En dicha casilla observaremos que nos indica el número de nodos seleccionados. En nuestro caso pondrá **42 nodes created**.


```
ga_view_aa_set(-53.316380, -3.682860, -17.39
STRING fem_transform_node__created_ids[VIR
STRING fem_transform_node__deleted_ids[VIR
fem_translate_nodes_1( "##", "<1 0 0>", "Coord I
$# === 42 nodes created. IDs = 2256:2297.
```

Por tanto, la fuerza que deberemos introducir en los datos del programa será $30462/42 = 725N$. Una vez acabada la operación vamos a la parte superior de la pantalla y hacemos clic en la opción **Undo**  para volver a tener la vista normal del a biela.

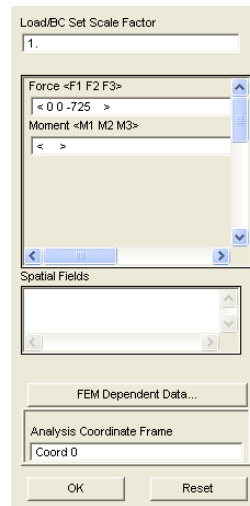
Volvemos a la herramienta **Loads/BCs** , para introducir la fuerza calculada, y vamos a la pestaña del menú **Object** y hacemos clic en la flecha negra para desplegar las opciones y en ellas escogemos **Force**. En la casilla **New Set Name** pondremos nombre a esta nueva fuerza, por ejemplo **Fuerza**.



New Set Name

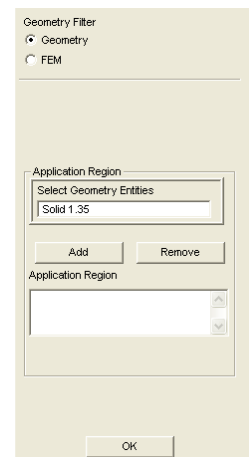
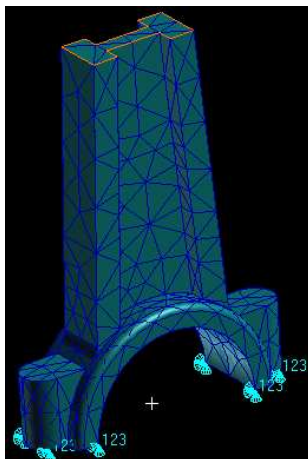
Fuerza

Seguidamente vamos a **Input Data** , donde hacemos clic y vamos a un nuevo menú en el que podremos dar valor a la fuerza que actúa sobre la superficie.

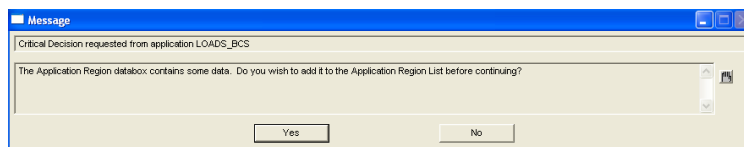
En la casilla **Force** <**F1 F2 F3**> pondremos las fuerzas que se ejercen según los ejes x, y, z en nuestro caso deberemos de poner < 0 0 -725 >, la fuerza será negativa ya que se ejerce en el eje z pero hacia abajo sobre la sección. Seguidamente en la casilla **Moment** <**M1 M2 M3**> no pondremos nada ya que no consideramos momentos. Para finalizar hacemos clic en **Ok**.



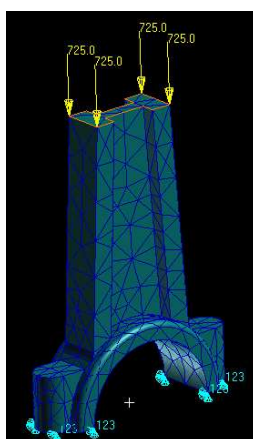
El siguiente paso que deberemos realizar será seleccionar el área sobre la que queremos que se ejerza dicha fuerza, esta sección será la sección crítica de la biela. Para ello, hacemos clic en la opción **Select Application Region** , y nos llevará a un nuevo menú. Por defecto en la primera opción tendremos seleccionada **Geometry**, la cual dejaremos como está. Haremos clic en la casilla en blanco **Select Geometry Entities** para seleccionar la cara que deseamos. Con la opción **Surface or Face** , de la paleta **Picking Filters**, activada vamos con el cursor a la sección crítica de la biela y la seleccionamos con un clic. Hacemos clic en **Ok**.




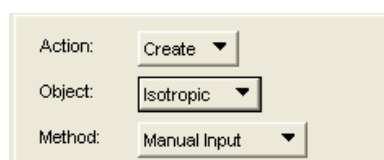
Por último y para acabar de colocar las fuerzas hacemos clic en **Apply** en el menú principal, es probable que salga una ventana informativa del siguiente tipo, en la cual directamente daremos a **Yes**.



La fuerza y desplazamientos quedarán de la siguiente forma.

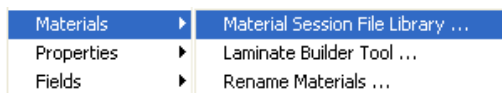


El siguiente paso en el cálculo de la biela será darle un material a la pieza y ponerle las propiedades adecuadas. Para ello, vamos a la herramienta **Materials**  y nos aparecerá en la parte derecha de la pantalla un nuevo menú correspondiente a dicha herramienta. Para dar un material a nuestra pieza lo vamos a escoger de una librería de materiales que tiene instalado el programa por defecto. Pero primero en la pestaña **Action** dejamos la opción **Create** que aparece por defecto. En la siguiente pestaña **Object** tendremos también varias opciones pero dejaremos la que aparece por defecto **Isotropic**. En la siguiente pestaña **Method** dejaremos como está la opción **Manual Input** para introducir nosotros el nuevo material.

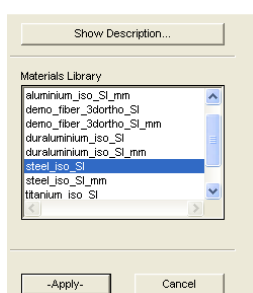


Lo siguiente que deberemos hacer es buscar el material que queremos asignar a la pieza, en nuestro caso es un acero. Para ello, vamos a la barra de herramientas superior y

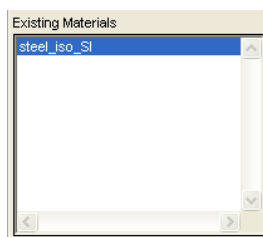
buscamos la paleta **Utilities Utilities**, haremos clic sobre ella para desplegar el menú y buscaremos la opción **Materials** y seguidamente se abre otro menú en el que seleccionaremos **Material Session File Library** en la que hacemos clic.



Nos aparece un nuevo menú en la parte derecha de la pantalla en el que saldrán una lista de materiales que podemos seleccionar. El nuestro lo buscaremos en la lista en la referencia **Steeliso_SI**. Haremos clic sobre el y seguidamente haremos clic en **Apply**.

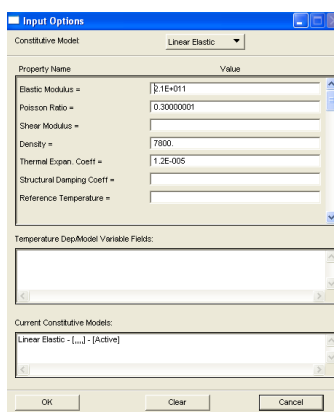



En menú principal aparecerá en el cuadro **Existing Materials** la referencia del que hemos buscado.




Seguidamente en la parte inferior del menú haremos clic en **Apply**.

Para comprobar que el material tiene propiedades adecuadas podemos seleccionar en el menú principal la opción **Input Properties Input Properties ...**. Nos aparecerá una ventana llamada **Input Options** con varias casillas en las que aparecerán las propiedades del material.



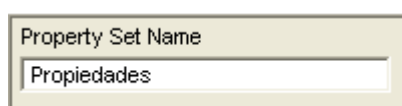
La siguiente herramienta será la denominada **Properties** , la cual se dedica a establecer una relación directa entre los elementos finitos y el material creado. Una vez seleccionada aparece un nuevo menú con varias pestañas. En la primera **Action** dejamos la opción **Create** que aparece por defecto. En la segunda pestaña **Object** podremos seleccionar el tipo de objeto que tenemos en este caso hacemos clic en la flecha negra para desplegar el menú y hacemos clic en la opción **3D**. En la última casilla **Type** dejaremos por defecto **Solid**.



Properties dialog box showing:

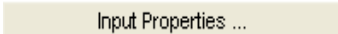

- Action: Create
- Object: 3D
- Type: Solid

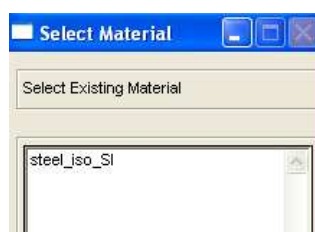
El siguiente paso será seleccionar la casilla en blanco **Property Set Name** y darle un nombre cualquiera en nuestro caso, por ejemplo, **Propiedades**.



Property Set Name dialog box showing:

- Property Set Name: Propiedades

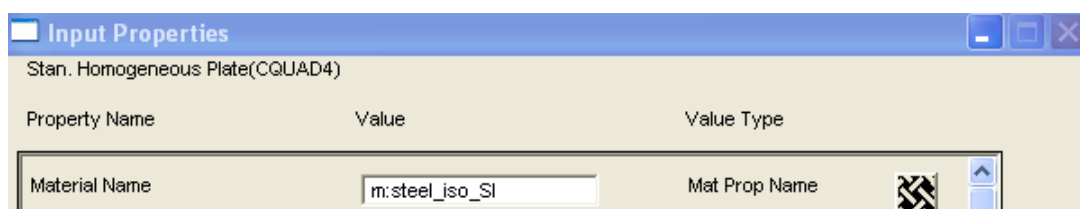
Para seleccionar las propiedades que queremos relacionar vamos a **Input Properties**  la seleccionamos y nos aparecerá una nueva ventana. En la primera casilla denominada **Material Name** deberemos añadir nuestro material **Steel_iso_SI**, para ello, hacemos clic en el símbolo de la derecha  y se nos abrirá un menú **Material Select** en el que haremos clic en nuestro material.




Material Select dialog box showing:

- Select Existing Material: steel_iso_SI

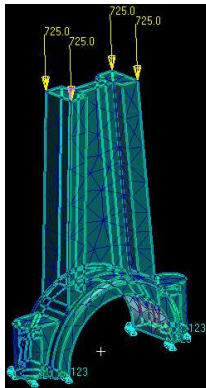
Al seleccionarlo directamente se añadirá a la casilla **Material Name** de la ventana anterior. Para finalizar haremos clic en **Ok**.




Input Properties dialog box showing:

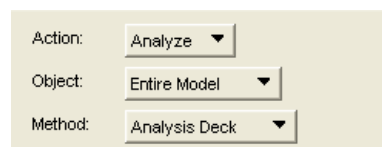
Property Name	Value	Value Type
Material Name	m:steel_iso_SI	Mat Prop Name 

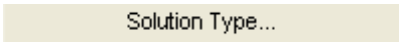
Siguiendo con el menú principal vamos a la casilla **Select Members** en la que hacemos clic y seguidamente seleccionamos nuestro sólido mediante un clic en cualquier zona.

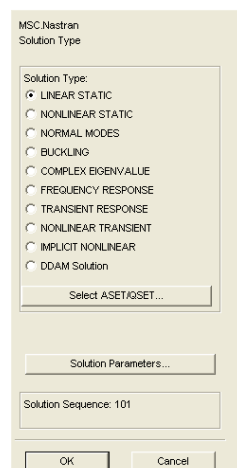


Para finalizar hacemos clic en **Apply**.

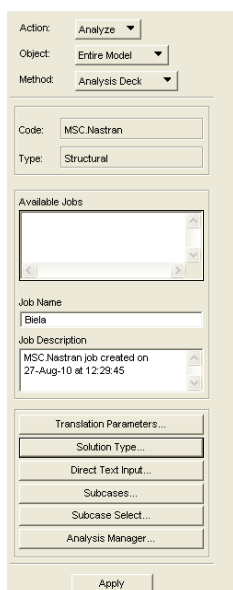
La siguiente herramienta será **Analysis**  con la que podremos analizar la pieza con todas las características creadas hasta ahora. . En la primera **Action** dejamos la opción **Analyze** que aparece por defecto. Seguidamente en la pestaña **Object** también dejamos por defecto la opción **Entire Model**. A continuación vamos a la pestaña **Method** y hacemos clic en la casilla para desplegar el menú en el que seleccionaremos la opción **Analysis Deck**.



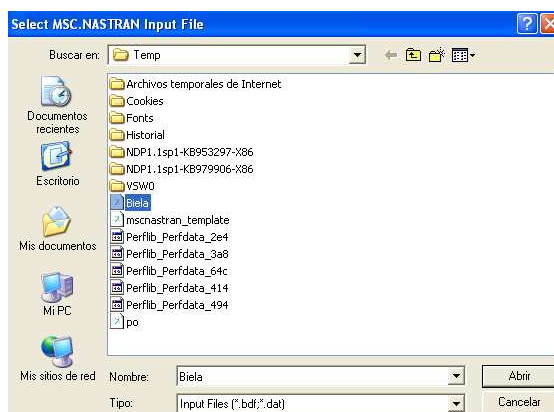
Después vamos a la parte inferior del menú principal donde encontraremos varias pestañas distintas. Nos fijamos en una que pone **Solution Type**  la cual seleccionamos para acceder a un nuevo menú en el que deberemos seleccionar **Linear Static**. Para acabar hacemos clic en **Ok**.



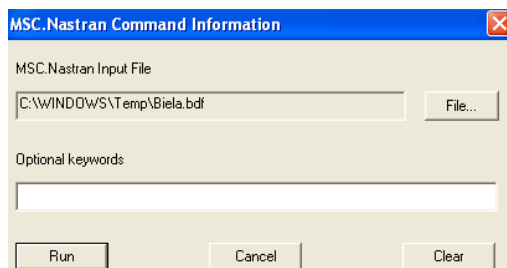
Saldremos automáticamente al menú principal en el que ya podremos analizar la pieza, para ello, hacemos clic en **Apply**.



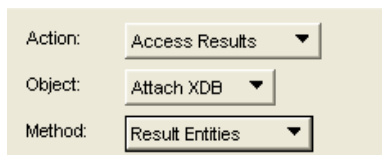
El programa actuará calculando la pieza con los datos aportados. Cuando termine el siguiente paso será comprobar cuales son los resultados. Para ello debemos abrir el programa NASTRAN para chequear dichos análisis y poder ver los resultados. Una vez abierto nos aparecerá una ventana llamada **Select MSC.NASTRAN Input File**, deberemos buscar un archivo que se llame como el que hemos creado **Biela** pero que su extensión sea de la forma **.bdf**. Una vez encontrado hacemos clic en **Abrir**.



Seguidamente aparecerá una ventana denominada **MSC.NASTRAN Command Information** en la que directamente hacemos clic en **Run**.



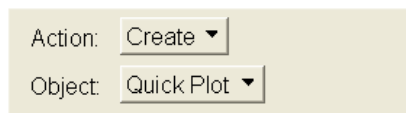
Tardara un poco en realizar sus cálculos, una vez acabados debemos volver al programa PATRAN para acceder a los resultados, para ello, en la misma herramienta **Analysis** vamos a la pestaña **Action** y hacemos clic en la flecha negra para abrir el menú. Seleccionamos la opción **Access Results**, en las siguientes pestañas **Object** y **Method** dejamos las opciones que aparecen por defecto.



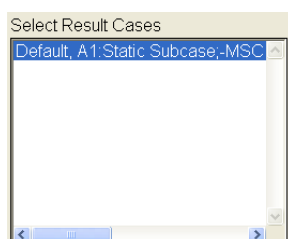
El siguiente paso será hacer clic en la pestaña de este menú principal denominada **Select Results File**, la cual seleccionamos. Aparecerá una ventana llamada **Select File** en la que buscaremos nuestro archivo de resultados, en nuestro caso será llamará **Biela** y tendrá una extensión **.xdb**. La seleccionamos y hacemos clic en abrir **Ok**. De vuelta en el menú principal seleccionamos **Apply** para terminar el proceso.



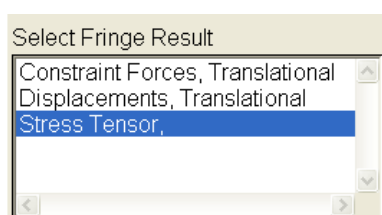
Para terminar seleccionamos la herramienta **Results**, aparecerá un nuevo menú a la derecha de la pantalla en el que habrá un par de casillas. En la primera **Action** dejamos la opción **Create** que aparece por defecto. En la siguiente **Object** dejamos por defecto la opción que aparece **Quick Plot**.



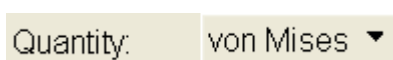
Seguidamente en la casilla **Select Result Cases** podremos seleccionar el resultado que nos ha dado el análisis de la pieza. En ellos podremos observar las diferentes tensiones que sufre la biela con la carga aplicada sobre la sección crítica.



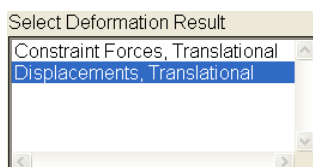
En el siguiente cuadro denominado **Select Fringe Result** podemos seleccionar el tipo de resultado que queremos verificar. Por tanto seleccionamos la opción denominada **Stress Tensor** con la cual podemos ver la tensión a la que está sometida la pieza.



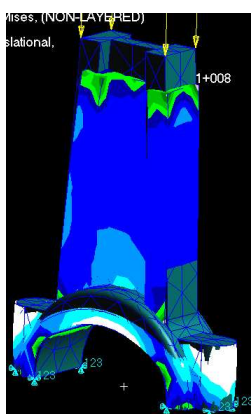
Debajo de este cuadro nos aparecerá una pestaña denominada **Quantity** en la que seleccionaremos la primera opción denominada **Von Mises**.




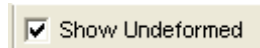
Después iremos al siguiente cuadro llamado **Select Deformation Result** en el que seleccionamos la opción **Displacements/Translational**.




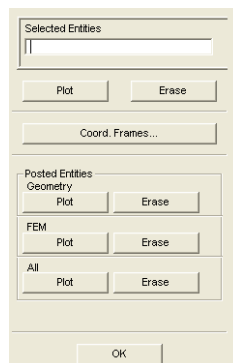
Para terminar hacemos clic en **Apply** y observaremos que en la ventana donde se sitúa la biela ha aparecido una figura de la biela representando los resultados. Pero como se puede observar en la pantalla aparece la geometría y los resultados superpuestos.



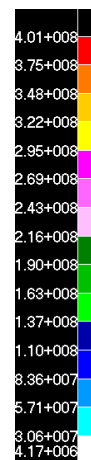
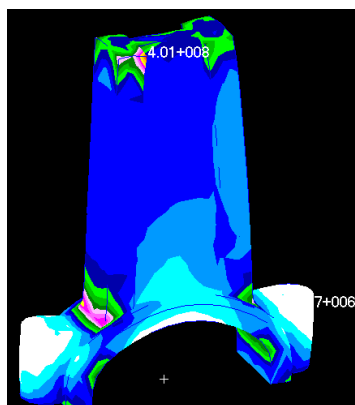
Para solucionar esto y ver solo los resultados vamos al menú principal y localizamos un botón llamado **Deform Atributes**  el cual seleccionamos y aparece otro menú, habrá muchas opciones diferentes pero nosotros nos dirigimos a una que ponga **Show Undeformed** en la cual habrá un cuadro que estará seleccionado, habrá que deseleccionarlo.




Para terminar haremos clic en **Apply**. Seguidamente vamos a la herramienta de la parte superior de la pantalla denominada **Plot/Erase**  para poder esconder, no es borrar, la geometría. En el menú que aparece seleccionamos la casilla de **Selected Entities** y seguidamente en la opción **Posted Entities Geometry** hacemos clic en la opción **Erase**.

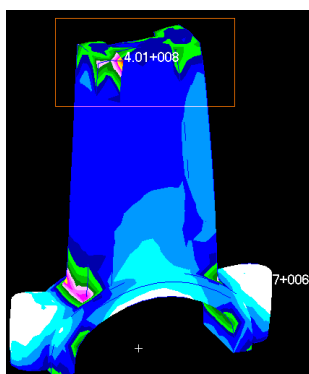


La pieza finalmente quedará de la siguiente forma, en ella se puede observar los puntos en rojo que son los que mas tensión sufren y en otros colores los que menos.

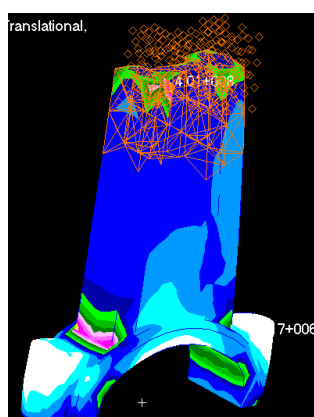


Se puede observar que el punto de máxima tensión es el superior en la sección crítica con 401MPa y el de mínima son las zonas en blanco con una tensión de 41.7MPa.

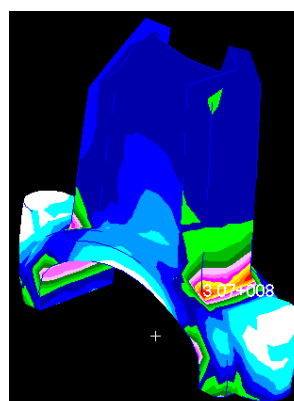
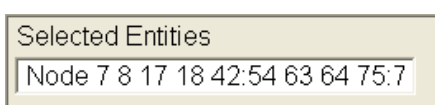
Pero lo que nos interesa saber es la tensión que sufren los puntos críticos como, por ejemplo, el radio de acuerdo de la parte inferior de la biela. Para conocer la tensión que hay en ese punto vamos a la herramienta ya vista **Plot/Erase**  y vamos con el cursor a la parte superior de la biela junto a la sección crítica donde hacemos clic mantenido para abrir un cuadro de selección de la siguiente forma.



Se seleccionaran los distintos nodos y elementos que estén dentro de dicho cuadro.




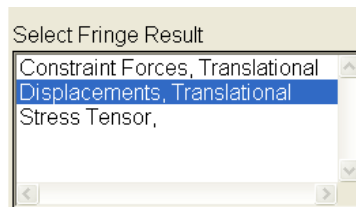
Y por último iremos al menú y observaremos que las entidades seleccionadas estarán dentro de la casilla **Selected Entities**. Haremos clic en **Erase** para ocultar esa zona seleccionada. De esta forma podremos ver sobre la figura de los resultados de la biela el valor de la tensión en el punto crítico inferior. La pieza quedará de la siguiente forma.



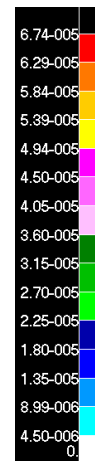
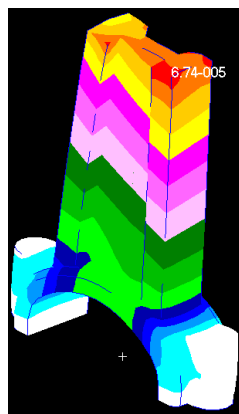
Como se puede observar el valor de la tensión sobre esa zona crítica de la pieza son unos 307MPa, lo cual quiere decir que la pieza aguanta perfectamente ya que la resistencia del acero F-125 escogido es de unos 800 MPa. La pieza aguanta la fuerza ejercida sobre la sección crítica.

Seguidamente vamos a comprobar los desplazamientos que sufre la pieza. Para ello en la

herramienta **Results**  vamos al menú principal y esta vez en el cuadro **Select Fringe Result** seleccionamos la opción **Displacements/Translational**. El resto de cuadros se quedan como en el caso anterior



En la pestaña **Quantity** dejamos por defecto **Magnitude** y después hacemos clic en **Apply**. La pieza ahora cambiará y nos mostrará los desplazamientos que sufre quedará de la siguiente forma.



Como se puede observar el máximo desplazamiento que sufre la pieza se produce en la parte superior, en la esquina de la sección crítica. El valor de dicho desplazamiento es $6,74 \cdot 10^{-5} m$ lo que equivale a 0,0674 mm un valor bastante pequeño y que es válido.

6- Anexo

6.1 Cálculos de fatiga

En este apartado se van a presentar los cálculos aproximados a fatiga del pistón, biela y cigüeñal, que soportan cuando están sometidos a una presión máxima en la fase de explosión, cuando el mecanismo ha girado 10 grados. Para realizar dichos cálculos se utilizarán las teorías de fatiga y supondremos que sobre el pistón se ejerce una fuerza de 30000 N repartidos por la superficie de dicha pieza. Dicha fuerza transmitirá a la biela, en la que tomaremos la fuerza perpendicular a la sección crítica, y también al cigüeñal, en el que la fuerza actuará sobre el apoyo de la biela.

1- Pistón:

- **Material:** Aluminio fundido
- **Resistencia a tracción, S_{ut} :** 90 – 120 MPa
- **Fuerza que actúa:** 30000 N
- **Área sobre la que actúa:** $\pi \cdot \frac{88^2}{4} = 6082,12 \text{ mm}^2$
- **Presión ejercida sobre el pistón:** $\frac{F}{A} = \frac{30000}{6082,12} = 4,932 \text{ MPa}$

A continuación calcularemos el límite de resistencia a fatiga, S_e , de nuestra pieza para relacionarlo con el valor de la presión ejercida sobre el pistón, 4,932 MPa.

Tenemos que:

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_q \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_g \cdot K_c \cdot S_e'$$

$$- S_e' = 0,504 \cdot S_{ut} \text{ si } S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa}$$

$$S_e' = 0,504 \cdot 90 = 45,36 \text{ MPa}$$

$$- K_a = a \cdot S_{ut}^b = 1,58 \cdot 90^{-0,085} = 1,0778$$

Acabado superficial del pistón: Rectificado ($a = 1,58$ y $b = -0,085$)

$$- K_b = 0,6$$

Carga axial $d > 10 \text{ mm}$

$$- Kq = 0,923$$

Carga axial $Sut < 1520\text{MPa}$

$$- Kd = 1$$

$$- Ke = 1$$

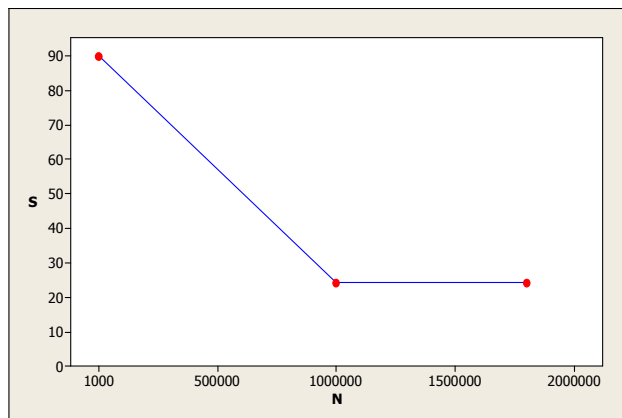
$$- Kg = 1$$

$$- Kc = 1 - \sigma \cdot D = 1 - 0,08 \cdot 1,3 = 0,896$$

Sustituyendo:

$$Se = 1,0778 \cdot 0,6 \cdot 0,923 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,896 \cdot 45,36 = 24,25\text{MPa}$$

Si observamos la gráfica de curvas S-n tendremos que al tratarse de un motor de moto el número de ciclos de vida de las piezas será mayor de 10^6 , por ello el esfuerzo ejercido sobre el pistón deberá ser menor que el límite de resistencia a fatiga. Observando los resultados vemos que el límite de resistencia a fatiga, $Se = 24,25\text{MPa}$ es mayor que la presión ejercida sobre el pistón, $4,932\text{MPa}$. Podemos decir que el resultado es válido.



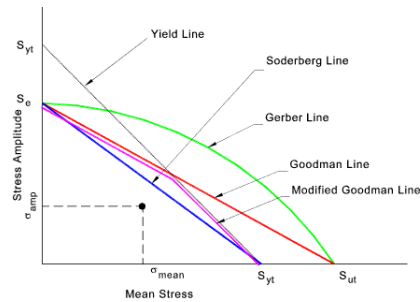
Para $\sigma_m \neq 0$:

Para determinar el fallo de un componente sometido a tensiones fluctuantes, se compara el término constante de la tensión actuante, la tensión media σ_m , con el límite de rotura elástico, y el término variable, la tensión alternada σ_a , con el límite a fatiga.

Para estudiar el fallo en este caso utilizaremos uno de los cuatro tipos de línea de fallo que existen, la línea de Goodman.

$$\frac{\sigma_m}{S_{ut}} + \frac{\sigma_a}{S_e} = 1$$

$$\frac{\sigma_m}{cs} + \frac{\sigma_a}{cs} = 1$$



Para el caso del pistón tenemos:

$$\sigma_m = 4,932 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 90 \text{ MPa}$$

$$S_e = 24,25 \text{ MPa}$$

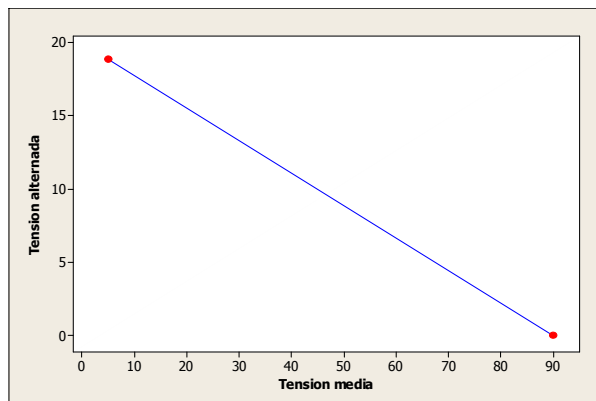
$$cs = 1,2$$

Sustituyendo en la fórmula:

$$\frac{4,932}{90} + \frac{\sigma_a}{24,25} = 1 \rightarrow \text{despejamos : } \sigma_a = 18,879 \text{ MPa}$$

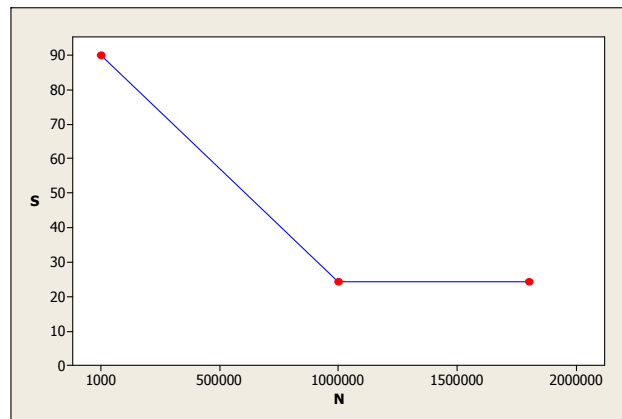
$$\frac{\sigma_m}{1,2} + \frac{\sigma_a}{1,2} = 1$$

Dibujamos la línea de Goodman con los valores calculados:



La recta de regresión es: $y = -0,221x + 19,97$

Por lo tanto el corte de la línea de Goodman con el eje Y se producirá en el punto aproximado de 19,97. Este número será la nueva resistencia a fatiga, $S_e^* = 19,97 \text{ MPa}$ y habrá que compararla, con la calculada anteriormente, mediante el gráfico S-N observando que esta por debajo del punto formado por $S_e = 24,25 \text{ MPa}$ y 10^6 ciclos. En este caso, por tanto, como $S_e^* = 19,97 \text{ MPa}$ es menor, podemos decir que la pieza está en la zona de 10^6 ciclos y aguanta el esfuerzo ejercido.



En caso de que hubiera sido mayor nos encontraríamos en la zona entre 10^3 y 10^6 lo cual sería peligroso para el pistón, deberíamos de disminuir la tensión media que sufre la pieza, por ejemplo aumentando la sección del pistón sobre la que actúa la fuerza.

2- Biela:

- **Material:** Acero F-125
- **Resistencia a tracción, S_{ut} :** 800 – 950 MPa
- **Fuerza que actúa:** $F = \frac{30000}{\cos 10} = 30462\text{N}$. Fuerza perpendicular a la sección crítica de la biela, tomada cuando el motor ha girado 10° , momento en el que el motor ejerce la mayor fuerza.
- **Área sobre la que actúa:** Sección crítica de la biela

$$(15 \cdot 7,514 \cdot 2) + (5 \cdot 16,878) = 309,81\text{mm}^2$$
- **Presión ejercida sobre el pistón:** $\frac{F}{A} = \frac{30462}{309,81} = 98,32\text{MPa}$

A continuación calcularemos el límite de resistencia a fatiga, S_e , de nuestra pieza para relacionarlo con el valor de la presión ejercida sobre la biela, 98,32 MPa.

Tenemos que: $S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_q \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_g \cdot K_c \cdot S_e'$

- $S_e' = 0,504 \cdot S_{ut}$ si $S_{ut} \leq 1400\text{MPa}$

$$S_e' = 0,504 \cdot 800 = 403,2\text{MPa}$$

- $K_a = a \cdot S_{ut}^b = 272 \cdot 800^{-0,995} = 0,351$

Acabado superficial del pistón: Forjado ($a = 272$ y $b = -0,995$)

$$- Kb = \left(\frac{de}{7,62} \right)^{-0,1133} = \left(\frac{13,423}{7,62} \right)^{-0,1133} = 0,937$$

$$de = 0,808 \cdot (276)^{0,5} = 13,423$$

$$- Kq = 0,923$$

Carga axial $Sut < 1520\text{Mpa}$

$$- Kd = 1$$

$$- Ke = 1$$

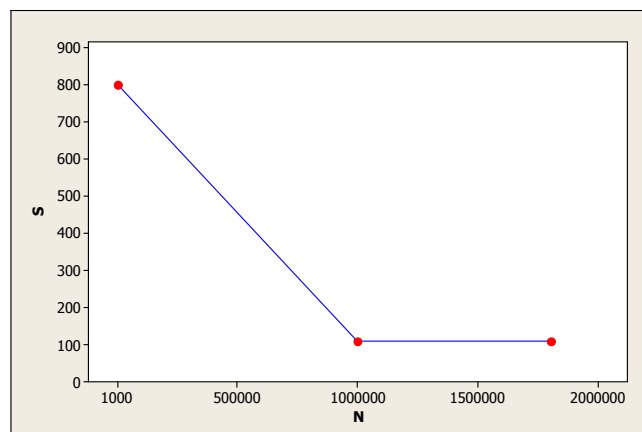
$$- Kg = 1$$

$$- Kc = 1 - \sigma \cdot D = 1 - 0,08 \cdot 1,3 = 0,896$$

Sustituyendo:

$$Se = 0,351 \cdot 0,937 \cdot 0,923 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,896 \cdot 45,36 = 109,66\text{MPa}$$

Si observamos la gráfica de curvas S-n tendremos que, como ya se ha comentado, el motor de moto tendrá el número de ciclos de vida de las piezas mayor de 10^6 , por ello el esfuerzo ejercido sobre la sección crítica de la biela deberá ser menor que el límite de resistencia a fatiga de esta. Observando los resultados vemos que el límite de resistencia a fatiga, $Se = 109,66\text{MPa}$ es mayor que la presión ejercida sobre el pistón, $98,32\text{MPa}$. Podemos decir que el resultado es válido.



Para $\sigma_m \neq 0$:

Para determinar el fallo de la biela sometida a tensiones fluctuantes, utilizamos el mismo método que hemos utilizado para el pistón.

Con ayuda de la línea de Goodman veremos si cumple las condiciones de resistencia.

$$\frac{\sigma_m}{Sut} + \frac{\sigma_a}{Se} = 1$$

$$\frac{cs}{cs}$$

Para el caso del pistón tenemos:

$$\sigma_m = 98,32 MPa$$

$$Sut = 800 MPa$$

$$Se = 109,66 MPa$$

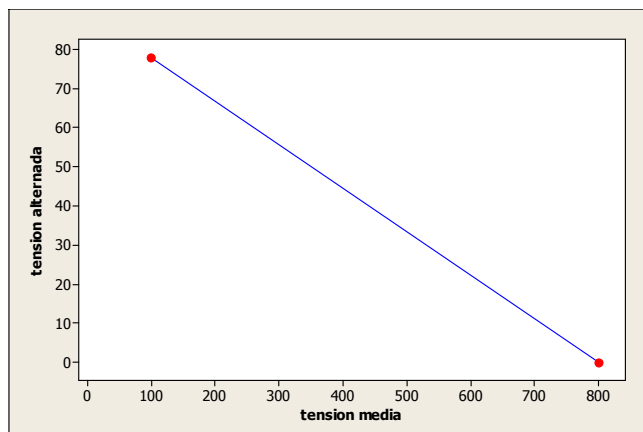
$$cs = 1,2$$

Sustituyendo en la fórmula:

$$\frac{98,32}{800} + \frac{\sigma_a}{109,66} = 1 \rightarrow \text{despejamos : } \sigma_a = 77,906 MPa$$

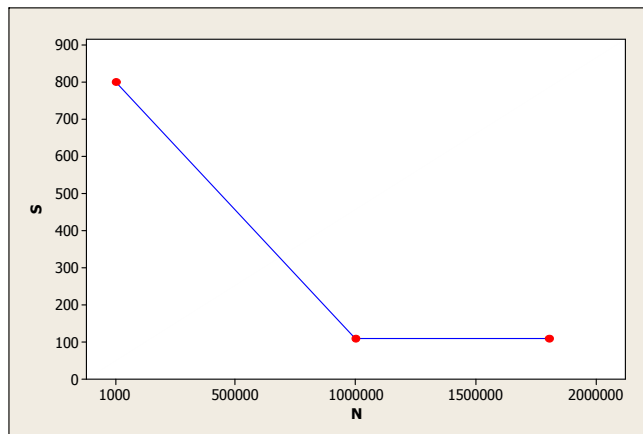
$$\frac{1,2}{1,2}$$

Dibujamos la línea de Goodman con los valores calculados:



La recta de regresión es: $y = -0,11102x + 88,82$

Por lo tanto el corte de la línea de Goodman con el eje Y se producirá en el punto aproximado de 88,82. Este número será la nueva resistencia a fatiga, $Se^* = 88,82 MPa$ y habrá que compararla, con la calculada anteriormente, mediante el gráfico S-N observando que esta por debajo del punto formado por $Se = 109,66 MPa$ y 10^6 ciclos. En este caso, por tanto, como $Se^* = 88,82 MPa$ es menor, podemos decir que la biela está en la zona de 10^6 ciclos y aguanta el esfuerzo ejercido.



En caso de que hubiera sido mayor nos encontraríamos en la zona entre 10^3 y 10^6 lo cual sería peligroso para la biela, deberíamos de disminuir la tensión media que sufre la pieza, por ejemplo aumentando la sección crítica de la biela.

3- Cigüeñal:

- **Material:** Acero F-123
- **Resistencia a tracción, Sut:** 800 – 1100 MPa
- **Fuerza que actúa:** 30462 N
- **Área sobre la que actúa:** Media sección del apoyo de la biela.

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot 20}{2} \cdot 23 = 1445,13 \text{ mm}^2$$

- **Presión ejercida sobre el pistón:** $\frac{F}{A} = \frac{30462}{1445,13} = 21,079 \text{ MPa}$

A continuación calcularemos el límite de resistencia a fatiga, Se , de nuestra pieza para relacionarlo con el valor de la presión ejercida sobre el apoyo del cigüeñal, 21,079MPa.

Tenemos que: $Se = Ka \cdot Kb \cdot Kq \cdot Kd \cdot Ke \cdot Kg \cdot Kc \cdot Se'$

- $Se' = 0,504 \cdot Sut$ si $Sut \leq 1400 \text{ MPa}$

$$Se' = 0,504 \cdot 800 = 403,2 \text{ MPa}$$

- $Ka = a \cdot Sut^b = 1,58 \cdot (800)^{-0,085} = 0,895$

Acabado superficial del pistón: Rectificado ($a = 1,58$ y $b = -0,085$)

$$- Kb = \left(\frac{d}{7,62} \right)^{-0,1133} = \left(\frac{40}{7,62} \right)^{-0,1133} = 0,828$$

$$- Kq = 1$$

$$- Kd = 1$$

$$- Ke = \frac{1}{Kf} = \frac{1}{1,984} = 0,504$$

$$Kf = 1 + q \cdot (Kt - 1) = 1 + 0,82 \cdot (2,2 - 1) = 1,984$$

Tablas ($q = 0,82$ y $Kt = 2,2$)

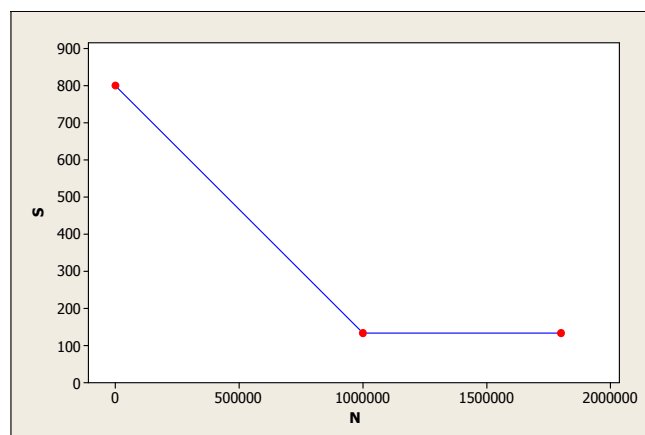
$$- Kg = 1$$

$$- Kc = 1 - \sigma \cdot D = 1 - 0,08 \cdot 1,3 = 0,896$$

Sustituyendo:

$$Se = 0,895 \cdot 0,828 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,504 \cdot 1 \cdot 0,896 \cdot 403,2 = 134,93 MPa$$

Si observamos la gráfica de curvas S-n tendremos, como en los casos anteriores, que el número de ciclos de vida de las piezas será mayor de 10^6 , por ello el esfuerzo ejercido sobre el apoyo del cigüeñal deberá ser menor que el límite de resistencia a fatiga de esta. Observando los resultados vemos que el límite de resistencia a fatiga, $Se = 134,93 MPa$ es mayor que la presión ejercida sobre el apoyo, $21,079 MPa$. Podemos decir que el resultado es válido.



Para $\sigma_m \neq 0$:

Como en los casos anteriores, para determinar el fallo del cigüeñal sometido a tensiones fluctuantes, se compara el término constante de la tensión actuante, la tensión media σ_m , con el límite de rotura elástico, y el término variable, la tensión alternada σ_a , con el límite a fatiga.

Para estudiar el fallo en este caso utilizaremos uno de los cuatro tipos de línea de fallo que existen, la línea de Goodman.

$$\frac{\sigma_m}{\frac{S_{ut}}{cs}} + \frac{\sigma_a}{\frac{S_e}{cs}} = 1$$

Para el caso del pistón tenemos:

$$\sigma_m = 21,079 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 800 \text{ MPa}$$

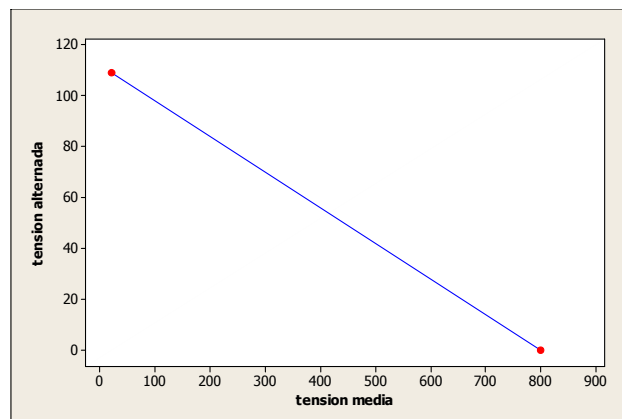
$$S_e = 134,93 \text{ MPa}$$

$$cs = 1,2$$

Sustituyendo en la fórmula:

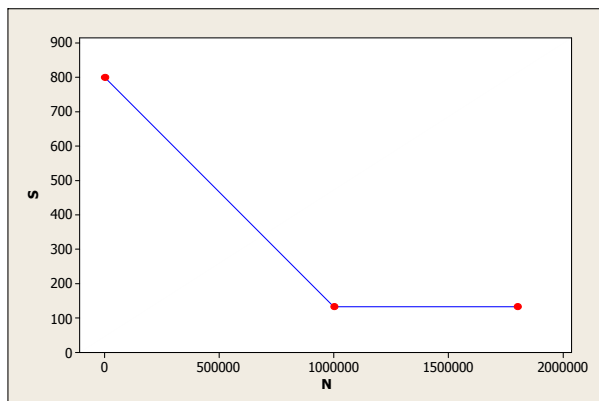
$$\frac{21,079}{\frac{800}{1,2}} + \frac{\sigma_a}{\frac{134,93}{1,2}} = 1 \rightarrow \text{despejamos : } \sigma_a = 108,88 \text{ MPa}$$

Dibujamos la línea de Goodman con los valores calculados:



La recta de regresión es: $y = -0,139x + 111,82$

Por lo tanto el corte de la línea de Goodman con el eje Y se producirá en el punto aproximado de 111,82. Este número será la nueva resistencia a fatiga, $S_e^* = 111,82 \text{ MPa}$ y habrá que compararla, con la calculada anteriormente, mediante el gráfico S-N observando que esta por debajo del punto formado por $S_e = 134,93 \text{ MPa}$ y 10^6 ciclos. En este caso, por tanto, como $S_e^* = 111,82 \text{ MPa}$ es menor, podemos decir que el cigüeñal está en la zona de 10^6 ciclos y aguanta el esfuerzo ejercido.



En caso de que hubiera sido mayor nos encontraríamos en la zona entre 10^3 y 10^6 lo cual sería peligroso para el pistón, deberíamos de disminuir la tensión media que sufre la pieza, por ejemplo aumentando la sección sobre la que actúa la fuerza en el cigüeñal.

6.2 Análisis Modal de Fallos y Efectos (A.M.F.E.)

A continuación se va a realizar un Análisis Modal de Fallos y Efectos (A.M.F.E.) de las piezas que componen el motor para comprobar a que pieza es más importante realizar el estudio de fatiga mediante NASTRAN/PATRAN. Así pues, la pieza que requiera un cálculo más exhaustivo será sobre la que realizaremos el manual de dicho programa.

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E)								
Componente	Modo de fallo potencial	Efecto potencial del fallo	Causa potencial del fallo	Resultado de las acciones				
				Acciones realizadas	F	G	D	IPR
Pistón	Que se rompa	Rotura del motor	Pieza mal calculada	Recalcular la pieza	2	9	5	90
	Que se oxide	Deterioro de la pieza	Material poco resistente a la oxidación	Cambiar de material a uno antioxidante	2	7	5	70
	Desajuste del segmento con su alojamiento	El aceite pasa a la cámara de combustión	Hueco de segmentos mal diseñado	Rediseñar alojamiento	1	9	5	45
	Que se rompa el alojamiento del bulón	Rotura del motor	Alojamiento del bulón mal diseñado	Rediseñar el alojamiento	1	9	8	72
Biela y contrabiela	Que se rompa	Se rompe el motor	Pieza mal calculada	Recalcular la pieza	2	9	5	90
	Que se salga el rodamiento entre biela y bulón	Mal funcionamiento del motor	Tolerancia de ajuste mal calculada	Buscar una tolerancia correcta	1	8	3	21

	Grietas en las aristas	Posible rotura de la biela	Tratamiento superficial mal efectuado	Mejorar el proceso de tratamiento superficial	3	7	3	63
	Que se oxide	Deterioro de la pieza	Acero poco resistente a la oxidación	Buscar acero mas resistente a la oxidación	2	7	5	70
	Que se doble la biela	Mal funcionamiento y posible rotura de biela	Material demasiado dúctil	Cambiar de material o tratamiento superficial.	2	8	4	64
	Que no se produzca un buen amarre al cigüeñal	Mal funcionamiento y posible rotura del motor	Mal diseño o mal amarre en el montaje	Revisar diseño y amarre	2	6	5	60
Cigüeñal	Que se rompa	Rotura de motor	Pieza mal calculada	Recalcular la pieza	2	9	4	72
	Que tenga mucha flexión	Mal funcionamiento del motor	Pieza mal diseñada	Revisar el diseño	2	6	5	60
	Que se oxide	Deterioro de la pieza	Acero poco resistente a la oxidación	Buscar acero mas resistente a la oxidación	2	7	5	70
	Grietas en el cigüeñal	Posible rotura de cigüeñal	Tratamiento superficial incorrecto	Mejorar el proceso de tratamiento superficial	3	7	3	63
Casquillo	Que se rompa	Mal funcionamiento del motor	Pieza mal calculada	Recalcular la pieza	3	6	3	54
	Que se desgaste	Mal amarre entre biela y cigüeñal	Material poco resistente al desgaste	Cambiar a un material mas duro	2	4	4	32
	Que se oxide	Deterioro de la pieza	Acero poco resistente a la oxidación	Buscar acero mas resistente a la oxidación	2	5	4	40
Bulón	Que se rompa	Posible rotura de motor	Pieza mal calculada	Recalcular la pieza	2	9	3	54
	Que se desgaste	Mal ajuste entre bulón y rodamiento	Material poco resistente al desgaste	Cambiar a un material mas duro	2	6	4	48
	Que se oxide	Deterioro de la pieza	Acero poco resistente a la oxidación	Buscar acero mas resistente a la oxidación	2	5	4	40

Una vez terminado el Análisis Modal de Fallos y Efectos podemos observar que la pieza que requiere un mayor grado de estudio es la biela, ya que esta, es la que mas fallos y roturas puede tener puesto que es la que une el movimiento del pistón y lo transfiere al cigüeñal. Para que un motor funcione correctamente es necesario que este movimiento sea coordinado además de que el pistón y el cigüeñal soporten bien las cargas. Por tanto, he creído conveniente que se realice el cálculo mediante NASTRAN/PATRAN de la biela que según mi AMFE es la pieza más importante del motor y la que requiere un estudio mas completo.

7- Bibliografía

- Metodología del diseño industrial. Un enfoque hacia la ingeniería concurrente. Francisco Aguayo González, Víctor M. Soltero Sánchez. Ed. Alfaomega RA-MA 2002.
- El método de los elementos finitos. Formulación básica y problemas lineales. Volumen 1. O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor. Ed. Mc Graw Hill 2000.
- Diseño gráfico con Catia. Curso práctico con los Módulos Sketcher y Part Desing. Jesús Lambás. Ed. RA – MA 2006.
- Diseño industrial. Jesús Félez Mindan. Ed. Síntesis 2000.
- Ciencia de materiales. Javier F. Carrasquilla, José María Lasheras. Ed. Editorial Donostiarra 2005.
- Diseño de producto. El proceso de diseño. Jorge Alcalde Marzal, José A. Diego Más, Miguel A. Artacho Ramírez. Ed. Universidad Politécnica de Valencia 2001
- Diseño de producto. Métodos y técnicas. Jorge Alcalde Marzal, José A. Diego Más, Miguel A. Artacho Ramírez. Ed. Universidad Politécnica de Valencia 2001.
- Apuntes de asignatura: Diseño de máquinas - (ITI - Mecánica). Departamentos: Ingeniería mecánica, Energética y Materiales. Autora: Virginia Badiola Urquiola.
- Apuntes de asignatura: Diseño industrial - (ITI – Mecánica).
- Apuntes de asignatura: Máquinas térmicas. Motores de combustión interna alternativos – (ITI – Mecánica).
- Apuntes de diseño, elementos finitos y teoría de Catia facilitados por Pedro Villanueva Roldán.
- <http://www.proinox.es/aespecial.html>